



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

ELABORACIÓN DE MATERIAL DE DIVULGACIÓN, ENFOCADO  
EN TEMAS RELACIONADOS AL ESPECTRO VISIBLE Y DIRIGIDO  
A PÚBLICO INFANTIL (DE ESCOLARIDAD PRIMARIA)

## REPORTE DE DIVULGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICA

P R E S E N T A :

Araceli Nazaret Reyes Martínez

TUTOR

MTRA. MALINALLI WONG RUEDA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, JUNIO 2024

## *Dedicatoria*

*Este trabajo está dedicado a mis padres, José y Araceli, cuya paciencia, amor incondicional y apoyo constante me han permitido alcanzar mis sueños.*

*A mi pareja, Cesar, cuyo amor y apoyo incondicional me han dado la fuerza y motivación para superar cada desafío y salir adelante incluso en los momentos mas oscuros en los que no veía con claridad que camino seguir o como continuar. Gracias por estar siempre a mi lado y creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por extender mi panorama de posibilidades y ayudarme a darme cuenta de lo que soy capaz.*

*A mis queridas mascotas, Sushi, cuya alegría, energía, ternura y compañía han sido un consuelo constante en este proceso, y Coco, cuya memoria sigue viva en mi corazón y cuya lealtad y amor incondicional nunca serán olvidados.*

*A mis amigos y compañeros de estudio, por los momentos de aprendizaje compartidos, risas y apoyo mutuo.*

*Finalmente, dedico este trabajo a todos los profesores y mentores que me han guiado y motivado a lo largo de mi carrera académica.*

*Gracias a todos por ser parte de este importante capítulo en mi vida.*

## Agradecimientos

A la Mtra. Malinalli Wong Rueda por haberme permitido trabajar a su lado durante este proceso. Su apoyo constante fue fundamental para realizar este proyecto que tenía en mente desde hace años y que finalmente se ha hecho realidad. Agradezco sinceramente su paciencia, tiempo y dirección, los cuales fueron cruciales para la culminación exitosa de este trabajo recepcional. Su orientación y dedicación no solo han enriquecido este proyecto, sino también mi desarrollo académico y profesional.

A los miembros del comité sinodal, a la Dra. Karen Patricia Volke Sepúlveda, a la Dra. Jazmín Carranza Gallardo, a la Dra. Maria del Pilar Segarra Alberú y al Dr. Luis Abraham García Hernández, por sus valiosos comentarios y correcciones en este trabajo recepcional. Sus observaciones y sugerencias han sido fundamentales para mejorar la calidad y profundidad de este proyecto. Aprecio el tiempo y la dedicación que han invertido en revisar mi trabajo, así como su compromiso con mi formación académica y profesional. Gracias por su apoyo y por contribuir significativamente a la finalización de este trabajo.

A la Directora del Colegio Axusco Carolina Lugo Ochoa por abrirnos las puertas de su escuela y permitirnos llevar el material creado a los niños de 3° a 6° de primaria. Su generosidad y disposición ha sido fundamental para la implementación de este proyecto, brindándonos la oportunidad de compartir nuestro trabajo con los estudiantes y enriqueciendo su aprendizaje. Agradezco profundamente su disposición y generosidad para hacer posible esta experiencia y brindar un espacio tan valioso para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, han contribuido a la realización de este trabajo.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo principal	1
1.1.2. Objetivos particulares	1
1.1.3. Metas esperadas con este material	2
1.2. Justificación	2
<b>2. Luz y color</b>	<b>4</b>
2.1. El espectro visible (luz blanca)	4
2.1.1. Experimentos e historia	5
2.2. Concepto de color	7
2.2.1. Colores primarios y mezcla de colores	9
<b>3. El arcoíris</b>	<b>13</b>
3.1. Dispersión de luz	13
3.2. Transmisión e índice de refracción	13
3.2.1. Reflexión	14
3.2.2. Refracción	16
3.3. Formación del arcoíris	18
<b>4. El ojo humano</b>	<b>23</b>
4.1. Anatomía del ojo humano	23
4.2. Funcionamiento del ojo	24
4.2.1. Formación de imágenes	25
4.3. Fotorreceptores	27
4.3.1. Visión escotópica y fotópica	27
4.3.2. Percepción del color	30
<b>5. Redacción para público infantil</b>	<b>34</b>
5.1. Adaptación de lenguaje	34
5.2. Apoyo de elementos visuales	35

<b>6. Divulgación para público infantil</b>	<b>37</b>
6.1. Enseñanza de la ciencia . . . . .	37
6.1.1. Enseñanza de la ciencia en México . . . . .	37
6.2. Importancia de la divulgación . . . . .	38
<b>7. Proyecto de divulgación</b>	<b>40</b>
7.1. Metodología de la presentación . . . . .	40
7.2. Ejecución del proyecto . . . . .	41
7.2.1. Investigación . . . . .	41
7.2.2. Desarrollo de contenidos . . . . .	41
7.2.3. Proceso de difusión . . . . .	44
<b>8. Elaboración y presentación final del proyecto</b>	<b>45</b>
8.1. Presentación del material escrito . . . . .	45
8.2. Presentación del material audiovisual . . . . .	63
8.3. Divulgación cara a cara . . . . .	65
<b>9. Resultados</b>	<b>66</b>
9.1. Resultados de la difusión . . . . .	66
9.1.1. Resultados del público . . . . .	66
9.1.2. Resultados de la actividad . . . . .	67
9.1.3. Resultados del mediador . . . . .	68
<b>10. Conclusiones</b>	<b>70</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>71</b>
<b>Apéndices</b>	<b>I</b>
<b>A. Tablas</b>	<b>I</b>
A.1. Transmisión e índice de refracción . . . . .	I
A.2. Formación del arcoíris . . . . .	I
A.3. Fotorreceptores . . . . .	III
<b>B. Discurso de la actividad</b>	<b>IV</b>



## Índice de figuras

1.	Rango del espectro visible dentro del espectro electromagnético. Basado y traducido del original [Rainwater, 1971]. . . . .	5
2.	Representación gráfica simplificada del experimento crucialis de Newton. . . . .	6
3.	Circulo de Newton. Basado y traducido del original [Shevell, 2003]. . . . .	7
4.	Curvas de reflectancia para los colores azul, verde y rojo. En las curvas se muestran las regiones del espectro visible predominante para cada caso. Basada en el original [Hecht, 2000]	8
5.	Colores primarios de la luz y su mezcla. . . . .	9
6.	Ejemplo de coloración aditiva. . . . .	11
7.	Colores primarios de los pigmentos y su mezcla. . . . .	12
8.	Diagrama del haz de luz reflejado y transmitido. . . . .	14
9.	Diagrama del haz de luz reflejado al incidir sobre un medio. . . . .	15
10.	Representación con rayos del haz incidente y el haz reflejado. . . . .	16
11.	Diagrama que muestra la desviación del haz de luz cuando se transmite en un medio. . . . .	17
12.	Representación con rayos de la ley de snell. . . . .	18
13.	Diagrama del camino que sigue el haz de luz dentro de la gota de agua. . . . .	19
14.	Diagrama de los conos de luz formados por el color rojo y el violeta. . . . .	21
15.	Diagrama de los diferentes conos de luz formados por las gotas de lluvia que se pueden observar y la contribución de cada una al observar un arcoíris en el cielo. . . . .	22
16.	Diagrama para la observación de un arcoíris. . . . .	22
17.	Diagrama simplificado de la anatomía del ojo humano. . . . .	23
18.	Diagrama de como el cristalino cambia su tamaño para modificar el enfoque[Puell, 2006]. . . . .	24
19.	Diagrama del modelo del ojo esquemático[Puell, 2006]. . . . .	25
20.	Diagrama de la formación de imagen retiniana en el modelo del ojo esquemático. Basado en el original [Puell, 2006]. . . . .	26
21.	Diagrama de la estructura de la retina en el ojo humano. Imagen traducida del original [Davidovits, 2013]. . . . .	28
22.	Distribución de las células conos y bastones en la retina. Imagen traducida del original [Malacara, 2011]. . . . .	29
23.	Imágenes de una retina humana tomadas con un oftalmoscopio con óptica adaptativa, por Roorda & Williams[Malacara, 2011]. . . . .	29

24.	En la gráfica se muestra la diferencia entre el espectro de absorción de los tres tipos de conos y los bastones. Imagen traducida del original [Aegerter, 2018]. . . . .	30
25.	Diagrama ejemplo de un colorímetro. . . . .	31
26.	Gráfica de $\bar{x}$ para cada longitud de onda, la cual representa a la cantidad de rojo presente en cada banda del espectro visible. . . . .	32
27.	Gráfica de $\bar{y}$ para cada longitud de onda, la cual representa a la cantidad de verde presente en cada banda del espectro visible. . . . .	32
28.	Gráfica de $\bar{z}$ para cada longitud de onda, la cual representa a la cantidad de azul presente en cada banda del espectro visible. . . . .	33
29.	Gráfica de $\bar{x}$ , $\bar{y}$ y $\bar{z}$ para cada longitud de onda. . . . .	33
30.	Portada del libro <i>Orbis sensualium pictus</i> escrito por Johann Amos Comenius [Library, nd].	35
31.	Captura de pantalla del canal de Youtube <i>Ciencia, arte y algo más</i> . . . . .	63
32.	Captura de pantalla del canal del video <i>Arcoíris de Bolsillo</i> . . . . .	64
33.	Portada realizada para la sección <i>Ouroboros para niños</i> . . . . .	64
34.	Niños de 3° con su arcoíris de bolsillo. . . . .	67
35.	Muestra del arcoíris de bolsillo ante el grupo de 4°. . . . .	68
36.	Presentación frente al grupo de 5°. . . . .	69

# 1. Introducción

Este proyecto plantea la elaboración de material de divulgación, el cual incluye la creación de artículos divulgativos apoyados por material audiovisual de contenido educativo, dirigido a un público infantil de escolaridad primaria, específicamente de 3° a 6° de primaria. Dicho material se enfoca de manera general a la óptica y de manera particular a los temas relacionados con el espectro visible. El proyecto de divulgación y sus productos intentan responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué es la luz y cuáles son sus características?
- ¿Quién descubrió la naturaleza del espectro visible de la luz?
- ¿Qué es un arcoíris y cuántos colores tiene?
- ¿Qué son los colores y cómo se perciben?
- ¿Cómo funciona el ojo humano?
- ¿Cómo perciben los colores algunos animales?

Estas preguntas se responden empleando un lenguaje amigable y adecuado para el público al que esta información está dirigida usando artículos de blog, los cuales fueron publicados en el blog digital *Ciencia, arte y algo más* dirigido por la Mtra. Wong. Dichos artículos cuentan con ilustraciones realizadas por cuenta propia y son complementados con apoyo del material audiovisual que se publicó en el canal de YouTube perteneciente al mismo proyecto *Ciencia, arte y algo más*, el video consta de una breve introducción sobre el tema y el desarrollo de un experimento casero que permita apreciar un fenómeno natural relacionado con el espectro visible.

Además de la difusión por redes sociales, se asistió a la escuela primaria Colegio Axusco ubicada en: *calle Francisco Peñuñuri, colonia Santo Tomas Ajusco, Tlalpan*; con CCT: 09PJN2956J. Esto con la finalidad de realizar un taller de divulgación cara a cara para presentar el material e interactuar directamente con los niños de 3° a 6° grado.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo principal

- Elaborar material de divulgación científica enfocado en el campo de la óptica, particularmente a temas relacionados con el espectro de luz visible y la visión. Dicho material estará dirigido a un público infantil de escolaridad de 3° a 6° primaria.

### 1.1.2. Objetivos particulares

- Crear artículos de blog enfocados en fenómenos particulares del espectro de luz visible con el fin de acercar al público infantil a la comprensión de estos temas de la física.
- Crear material audiovisual que sirva de apoyo al material escrito antes mencionado, a los cuales se les dará difusión a través de las plataformas digitales.
- Realizar actividades de divulgación cara a cara para probar el material realizado, además para promover la visualización de dicho material en las plataformas digitales.

### 1.1.3. Metas esperadas con este material

- Que el niño sea capaz de comprender la naturaleza de la luz y el principal experimento que llevo al descubrimiento de las propiedades del espectro de luz visible.
- Que el niño sea capaz de identificar las condiciones necesarias para que se forme un arcoíris, dándole una explicación sencilla a dicho fenómeno que resulta tan llamativo para la vista.
- Que el niño pueda comprender el funcionamiento del ojo humano por medio de ejemplos visuales.
- Que el niño o sus tutores puedan identificar y comprender la naturaleza del espectro visible, así como los colores que lo conforman.

## 1.2. Justificación

Estudios [Potvin, 2020; Larkin-Hein, 2000; Solbes and Furió, 2007; Christopher Williams and Dickson, 2003; Holstermann, 2010] han mostrado el creciente desinterés de los estudiantes de primaria hacia las ciencias. ¿Es el profesor? ¿la familia? ¿la sociedad? ¿los textos educativos? Cualquiera que sea la situación, la divulgación puede marcar la diferencia a través de talleres, museos, material escrito e ilustrado, y, evidentemente, mediante las redes sociales.

La divulgación científica es una noble labor que permite el acercamiento entre la ciencia y la sociedad en general. Es durante la infancia que se puede explotar la curiosidad innata de los niños y su deseo de aprender para poder acercarlos a temas científicos y ayudarlos a desarrollar el pensamiento crítico. Por dicho motivo, este proyecto se enfoca en la creación de material que sea potencialmente atractivo para los niños y que además toque un tema complejo como lo es el estudio de la luz y el espectro visible. Para lo cual se ha elegido un público en escolaridad primaria entre los 8 y 12 años ya que corresponde a edades que se encuentran entre el tercer y sexto año de primaria, que es donde, según el programa de estudios de la SEP [SEP, 2015], se concentra la materia de “ciencias naturales” la cual condensa de manera general materias científicas, sin tratar de manera específica la materia de física.

El objetivo de este proyecto es acercar a los niños de primaria a la óptica, específicamente al espectro visible y la visión, temas que ya no están en el plan de estudios de ciencias naturales en primaria [SEP, 2017]. Estos temas pueden resultar interesantes para los estudiantes mediante experimentos y demostraciones visuales llamativas. Esto se logrará utilizando elementos presentes en su vida cotidiana. En este contexto, hablar de temas relacionados con el espectro visible, permite además acercar a los niños a contenido que se espera resulte atractivo, al tocar temas que pueden observar en su entorno y cotidianidad, con lo que se espera estimular su curiosidad por analizar su entorno y de esta manera acercarlos a la ciencia.

Al buscar explicaciones “sencillas” para niños sobre dichos temas, uno se percata que en varias de las explicaciones que se encuentran en internet o incluso en algunos museos, se utilizan palabras complejas que un niño pequeño no tiene en su acervo, por eso es importante acercarse a los niños con ejemplos, explicaciones y conceptos que a su edad entiendan, pero al mismo tiempo permitan al niño ir adquiriendo la experiencia y el conocimiento necesario para poder asimilar materiales más complejos en el futuro.

Es sabido que en México existe una distancia considerable con la ciencia y la tecnología, esto debido a que no tienen un papel prioritario en la cultura del país. Uno de los orígenes con mayor relevancia

en dicho alejamiento, dice Fernando Flores-Camacho en el libro *La enseñanza de la ciencia en la educación básica en México*, se encuentra en la educación básica, pues “a lo largo de la historia de la educación básica en México, las ciencias han ocupado un lugar secundario” [Flores-Camacho, 2012]. Esto es debido a que el tiempo que se le dedica a la materia de ciencias naturales en la primaria es mínimo, por lo cual queda en un segundo plano, uno no esencial o inútil para la vida cotidiana. Por lo que genera la idea de que la ciencia y tecnología son solo para personas con capacidades especiales, lo cual es una idea equivocada.

Debido a las concepciones erróneas sobre la ciencia, las personas tienden a alejarse de ella. En muchas ocasiones, esto también influye en los niños, ya que al no ser conscientes de cómo la ciencia esta presente en su día a día, no le otorgan la debida importancia. Conforme pasa el tiempo, pierden el interés y la curiosidad, alejándose aún más [Flores-Camacho, 2012].

Es aquí donde la divulgación de la ciencia entra en acción y se enfrenta a su principal reto: acercar la ciencia a la gente y promover una apropiación de la cultura científica para desmentir esas creencias incorrectas.

## 2. Luz y color

A partir de esta sección y hasta la *Sección 4*, se desarrollarán los conceptos físicos que constituyen el marco teórico fundamental para la elaboración del material de divulgación.

### 2.1. El espectro visible (luz blanca)

La luz que corresponde a la radiación electromagnética que va desde los  $384 \text{ THz}$  o  $780 \text{ nm}$  hasta los  $769 \text{ THz}$  o  $390 \text{ nm}$ , lo que corresponde al llamado espectro visible, ya que es perceptible para el ojo humano [Hecht, 2000].

El concepto de blancura depende de la percepción del espectro diurno de la Tierra pues es el Sol, la fuente de radiación natural de lo que conocemos como “luz blanca”, es por eso que toda fuente de luz (sea natural o artificial) parece blanca cuando su espectro de emisión se asemeja al del Sol.

Cuando se habla de luz blanca, se refiere a un espectro continuo que contenga todos los colores del espectro visible. Sin embargo, considerando al Sol como fuente natural, el espectro no es continuo debido a los gases atmosféricos. Por consiguiente, dado que los espectros de los iluminantes según la CIE (Commission Internationale de l’Eclairage) se miden en incrementos de  $10 \text{ nm}$ , se puede aceptar como luz blanca un espectro de bandas con huecos no mayores a  $10 \text{ nm}$  [CIE, nd].

Existen diferentes fuentes de luz que emiten luz blanca, así como muchas superficies de objetos que se perciben como blancos, lo que ocasiona que el ojo humano no sea capaz de distinguir siempre un blanco de otro.

Como ya se mencionó antes el espectro visible es aquel que va de los  $390\text{nm}$  a los  $780\text{nm}$  y está conformado por las siguientes 6 regiones divididas en colores:

Color	$\lambda$ [nm]	$\nu$ [THz]
Rojo	622 - 780	384 - 482
Naranja	597 - 622	482 - 503
Amarillo	577 - 597	503 - 520
Verde	492 - 577	520 - 610
Azul	455 - 492	610 - 659
Violeta	390 - 455	659 - 769

Cuadro 1: Longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $\nu$ ) correspondiente para cada región del espectro visible [Hecht, 2000].

Los mismos colores que se pueden observar en un arcoíris que, como se vera más adelante, se trata de luz blanca siendo dispersada, es decir, separada en las diferentes longitudes de onda que la componen, gracias a las gotas de lluvia.



Figura 1: Rango del espectro visible dentro del espectro electromagnético. Basado y traducido del original [Rainwater, 1971].

Debido a que la luz blanca, que proviene naturalmente del Sol, ha estado presente desde el inicio de la historia humana, se ha llevado a cabo un extenso estudio para comprenderla y su comportamiento. La rama de la física que se encarga de este estudio es la óptica.

### 2.1.1. Experimentos e historia

#### Historia

El camino hacia la descripción de la naturaleza de la luz comienza en la antigua Grecia, donde los filósofos griegos desarrollaron varias teorías acerca de la naturaleza de la luz, se conocía la propagación rectilínea de la luz y la ley de reflexión, enunciada por Euclides (300 a.C). Tiempo después, Cleómedes (50 d.C.) estudió la refracción de la luz y más tarde Claudio Tolomeo de Alejandría (130 d.C.) evaluó medidas precisas de los ángulos de incidencia y refracción en diferentes medios [Hecht, 2000].

Durante la edad media en Europa, no se tuvo prácticamente ningún progreso científico en el mundo occidental, en el área de la óptica, por lo que el centro de estudios se trasladó a Arabia, donde Alhazen (1000 d.C) trabajó en la ley de la reflexión, poniendo los ángulos de incidencia y de reflexión en el mismo plano normal a la interfaz, además describió con gran detalle el ojo humano [Bachiller, 2015].

Posteriormente, en 1611, Johannes Kepler publicó en su libro *Dioptrice* que había descubierto la reflexión total interna y llegó a la aproximación para pequeños ángulos en la ley de refracción, en cuyo caso los ángulos incidentes y transmitidos son proporcionales. Diez años después, en 1621, Willebrord Snell, descubrió empíricamente la ley de la refracción, hecho que es considerado como uno de los grandes momentos de la óptica, pues al conocer cómo los rayos de luz son desviados al atravesar la frontera entre dos medios, Snell abrió la puerta a la óptica moderna. Sin embargo, fue René Descartes el primero en publicar la fórmula que usualmente se conoce de la refracción en términos de senos, que se muestra a continuación, en su libro *La Dioptrique* (1637), la ecuación 1 se desarrolla y explica más adelante [Hecht, 2000].

$$\eta_i \text{sen}(\theta_i) = \eta_t \text{sen}(\theta_t) \quad (1)$$

Finalmente, Isaac Newton se basó en la observación directa de las cosas, evitando hipótesis especulativas, es por esto que la naturaleza de la luz permaneció por mucho tiempo ambivalente (dualidad

onda-partícula). A los 23 años, Newton comenzó con sus famosos experimentos sobre la dispersión de la luz, concluyendo que la luz blanca estaba compuesta por la mezcla de una gama completa de colores independientes.

### Experimento crucialis

Isaac Newton fue el primero en reconocer que la luz blanca es en realidad una mezcla de todos los colores del espectro visible. Anteriormente cuando se realizaba el experimento del prisma, el cual se describirá a continuación, se pensaba que el prisma coloreaba la luz, o creaba colores alterando la luz blanca. En cambio Newton se percató de que el prisma sólo dispersa la luz, separándola en los colores que la constituyen.

En 1666, cuando Newton trabajaba en el diseño y forma de las lentes, obtuvo un prisma con el cual poder observar el fenómeno de los colores, de manera que para realizar su experimento preparó su cuarto como si se tratara de una cámara oscura. Oscureció por completo la habitación, evitando la entrada de cualquier fuente de luz externa, excepto por un pequeño orificio que realizó en una de las persianas. El rayo de luz que entró por el orificio lo hizo pasar a través del prisma para que el resultado se viera proyectado sobre una pantalla o pared, de esta forma pudo observar como se dividía la luz en los colores que lo componían, a lo que llamó espectro [Sepper, 2003].

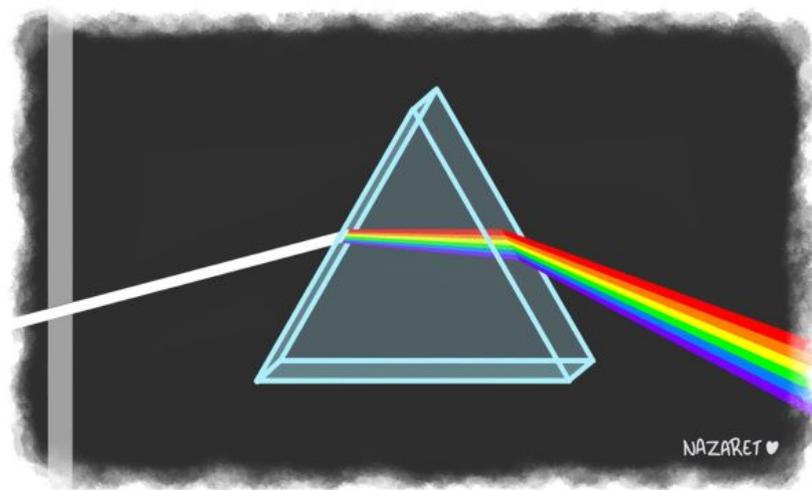


Figura 2: Representación gráfica simplificada del experimento crucialis de Newton.

Newton designó 7 colores fundamentales que componen a la luz blanca: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta. Pero si uno observa el espectro visible, el color índigo es difícil de diferenciar del azul o del violeta, por lo que existe la creencia de que decidió que fueran 7 colores al igual que hay 7 notas musicales, pues se puede hacer el símil, así como con 7 notas musicales se puede crear una melodía, con 7 colores elementales se puede generar cualquier otro color y al combinarlos se obtiene luz blanca [Malacara, 2011].

Para corroborar que se trataba de la descomposición de la luz y no del prisma coloreando la luz, complementó su experimento agregando otro prisma. Hizo pasar los rayos de colores que salían del primer prisma por el segundo prisma, de manera que al salir del segundo prisma los colores se

reunían de nuevo en forma de luz blanca. Newton se percató también de que la refracción de la luz dependía de la superficie del objeto al que llegaba, y comprendió que los colores que el ser humano es capaz de observar, eran aquellos que se reflejaban sobre la superficie y llegaba a los ojos. Así explicó que las superficies pintadas con cierto pigmento, absorben todos los colores que conforman a la luz excepto la longitud de onda del color en el que se puede observar; pues es la única que se refleja y llega al ojo [Freire, 2023].

Newton también experimentó combinando ciertas partes del espectro visible para formar nuevos colores. Especialmente tuvo interés en combinar los extremos del espectro, violeta y rojo en diferentes porciones, y obtuvo una nueva gama de colores morados. De esta manera pudo acomodar los colores en una banda circular, donde al centro se encuentra el blanco y los colores complementarios en puntos opuestos con respecto al centro, como se observa en la figura 3 [Malacara, 2011].

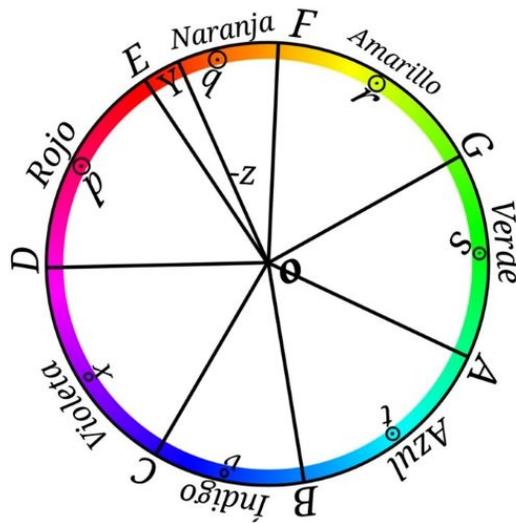


Figura 3: Círculo de Newton. Basado y traducido del original [Shevell, 2003].

Es así como el 6 de febrero de 1672, Newton presentó un artículo ante la Royal society con el título “Una nueva teoría acerca de la luz y de los colores” en donde llegó a la conclusión de que la luz blanca consiste en una mezcla de colores y que la refracción depende del color, siendo reconocido como el primer artículo científico publicado en la historia [Freire, 2023].

## 2.2. Concepto de color

La percepción del color es la respuesta humana (fisiológica y psicológica) a las diferentes frecuencias del espectro visible que se pueden observar en la tabla 1. El color no es una propiedad de la luz, sino más bien una percepción del sistema formado por ojos, nervios y cerebro. Se podría decir que, en vez de que algo es de un color, se ve o percibe de dicho color [Gilbert, 2008].

Aquello que se percibe como color blanco son en realidad superficies reflectoras. Al observarlas bajo luz blanca, se ven blancas. Esto es evidente en vidrios esmerilados, azúcar, papel, pintura, etc., que, aunque están formados por granos o fibras transparentes, se perciben blancos. Esto ocurre porque el tamaño de los granos o fibras es pequeño pero mayor que las longitudes de onda del espectro visible. La luz entra en cada partícula, se refleja y refracta varias veces antes de emerger y llegar al ojo humano como luz blanca [Hecht, 2000; Gilbert, 2008].

Por otro lado, si las partículas y el medio tienen el mismo índice de refracción no habrá ninguna refracción en la interfaz y las partículas serán transparentes. De manera que la superficie de un medio transparente refleja todas las longitudes de onda, prácticamente de la misma manera y nunca aparece en color. Ahora, si una superficie con reflexión difusa, absorbe uniformemente a lo largo de todo el espectro visible, pero refleja menos que otra superficie blanca, esta se verá gris. Es así que cuanto menos luz refleja y más absorbe, la superficie se verá cada vez más oscura, hasta absorber casi toda la luz y se vea negra.

Para pigmentar, sólo se necesita colorear las partículas de forma que absorban todas las frecuencias del espectro visible con excepción del rango de color deseado. De manera que, cuando la distribución de energía de un haz de luz no es uniforme y predomina más una región que otra, la luz se verá coloreada.

A continuación, en la *figura 4* se muestra la distribución típica de las curvas de reflectancia que el cerebro interpreta como luz color azul, verde y rojo.

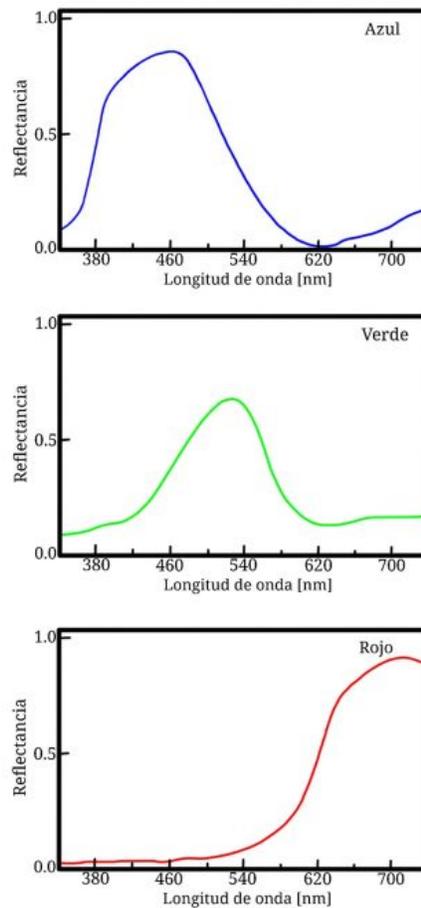


Figura 4: Curvas de reflectancia para los colores azul, verde y rojo. En las curvas se muestran las regiones del espectro visible predominante para cada caso. Basada en el original [Hecht, 2000]

### 2.2.1. Colores primarios y mezcla de colores

Cuando se habla de colores primarios, se acostumbra pensar en los siguientes colores: rojo, amarillo y azul. En esta subsección se verá que cuando se trata de colores primarios, importa si se esta hablando de luz o de pigmento y se profundizará en las mezclas de colores por lo que se hará la diferenciación entre mezcla de luces de mezcla de pigmentos.

#### Colores primarios: luz

Thomas Young, a comienzos del siglo XIX, demostró que se podían obtener una variedad de colores mezclando sólo tres haces de luz, rojo, verde y azul. Cuando estos tres haces se combinan y forman luz blanca se dice que se trata de colores primarios. No existe solo un grupo de colores primarios pero los que se usan con mayor frecuencia son el rojo, el verde y el azul, lo que comúnmente se le conoce como **RGB** (Red, Green & Blue), ya que al mezclarlos se pueden obtener toda la gama del espectro visible y coinciden con las longitudes de onda a las cuales las células fotorreceptoras del ojo, llamadas conos, son sensibles[Hecht, 2000].

#### Colores primarios: pigmentos

Cuando se habla de colores primarios en pigmentos, se suele decir que los colores primarios son rojo, azul y amarillo, pero como se verá a continuación, no se suelen tomar estos tres colores como los primarios [Gilbert, 2008].

Si se proyecta luz blanca a través de diferentes filtros de color cian, magenta y amarillo; y se combinan, se obtienen una variedad de colores, incluyendo rojo, azul y verde.

De manera que los colores primarios de la coloración sustractiva o pigmentos son: cian, magenta y amarillo, usualmente conocido como **CMY** (Cyan, Magenta & Yellow).

#### Mezcla de luces: coloración aditiva

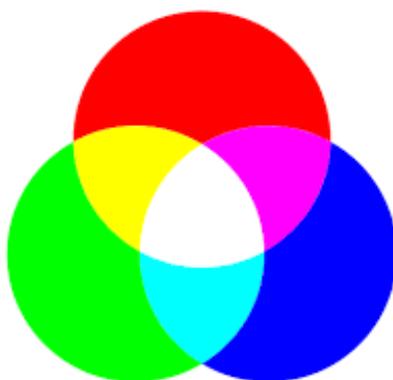


Figura 5: Colores primarios de la luz y su mezcla.

Como se observa en la *figura 5*, en las regiones donde se superponen 2 colores da un tercero, a estas mezclas de colores primarios, se conocen como colores secundarios, y la suma de los 3 colores primarios dará como resultado blanco.

De manera que se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}R(\text{rojo}) + G(\text{verde}) + B(\text{azul}) &= W(\text{blanco}) \\R + G &= Y(\text{amarillo}) \\G + B &= C(\text{cian}) \\R + B &= M(\text{magenta})\end{aligned}$$

Dentro de la mezcla de luces, existen los colores complementarios, ya descritos por Newton, los cuales son aquellos que al sumar los dos haces darán como resultado el blanco:

$$\begin{aligned}Y + B &= W \\C + R &= W \\M + G &= W\end{aligned}$$

Cuando se trata de luces también se pueden usar filtros para, como su nombre lo dice, filtrar ciertas longitudes de onda, por lo que un filtro absorberá una región del espectro visible de la luz blanca que pasa a través de él, correspondiente a su color complementario.

$$\begin{aligned}W - B &= Y \\W - R &= C \\W - G &= M\end{aligned}$$

Cuando se mezclan colores secundarios entre ellos, se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}Y + C &= R + G + B + G = W + G \\Y + M &= R + G + B + R = W + R \\C + M &= G + B + R + B = W + B\end{aligned}$$

El resultado será una combinación de blanco con rojo, verde o azul, lo cual dará un color poco saturado. Cuando se habla de la saturación de un color, se hace referencia a la cantidad de neutralidad (blanco, gris o negro) presente en dicho color. Un color se considera saturado cuando hay una menor cantidad de neutralidad o su presencia es nula, y viceversa.



Figura 6: Ejemplo de coloración aditiva.

Cuando se sobreponen 2 o más haces de luz para obtener una coloración se conoce como coloración aditiva, como se muestra en la *figura 6*. Este tipo de coloración sólo se puede obtener cuando se trata de luz, de lo contrario se conoce como coloración sustractiva.

### **Mezcla de pigmentos: coloración sustractiva**

La coloración sustractiva es la que se puede observar cuando se usan filtros de color. Si se usa un filtro que absorba una región del espectro visible, cuando se mire la luz blanca a través de él, se verá su color complementario.

De esta forma el vidrio, la tela, el papel o la pintura se puede observar de cierto color, esto es debido a que absorbe selectivamente a su color complementario. Por ejemplo, si se tiene un filtro que absorbe el color rojo y se mira a través de él, el filtro absorbe el rojo y transmite el verde y azul, lo cual forma al cian. Y lo que sea de color cian es porque absorbe el espectro visible pero selectivamente al rojo. Cuando se mira a través de un filtro de cierto color, algo que sea del color complementario a este filtro, se observara negro. Continuando con el ejemplo anterior, si se tiene un filtro de color cian y se observa a través de él algo de color rojo, este objeto parecerá negro. Por eso se conoce como coloración sustractiva o mezcla sustractiva.

Cuando se habla de coloración sustractiva, se habla de que cada uno de los colores primarios sustrae una parte del espectro visible, de manera que si se juntan todos, deberían de absorberlo por completo, por lo que no se obtendría ningún color, nada de luz, solo oscuridad.

Si el rango de frecuencias que están siendo absorbidas abarca todo el espectro visible, el objeto se observará como negro, el cual se denota comúnmente como **K** (Black)[[Gilbert, 2008](#)]

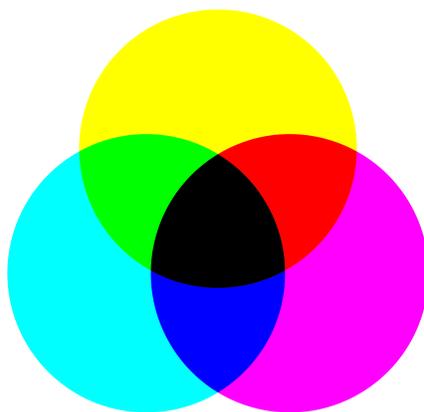


Figura 7: Colores primarios de los pigmentos y su mezcla.

De manera que se tendrán las siguientes combinaciones de colores:

$$\begin{aligned}
 C(\text{cian}) + M(\text{magenta}) + Y(\text{amarillo}) &= K(\text{negro}) \\
 C + M &= B(\text{azul}) \\
 C + Y &= G(\text{verde}) \\
 M + Y &= R(\text{rojo})
 \end{aligned}$$

Al igual que en la mezcla de luces, existen los colores complementarios, los cuales son aquellos cuya suma dará como resultado negro.

$$\begin{aligned}
 B + Y &= K \\
 G + M &= K \\
 R + C &= K
 \end{aligned}$$

El sistema de colores **CMYK** es el que se suele utilizar para las impresiones a color debido a que al tratarse de los colores primarios de la mezcla sustractiva (**CMY**), se obtiene toda la gama del espectro visible. Dependiendo de la cantidad que se usa de cada color se obtienen diferentes hues, saturaciones y luminocidades. Se usa el negro (**K**) para ahorrar tinta al momento de obtener colores mas oscuros o generar sombras, lo que lo vuelve muy útil en aplicaciones industriales, además se tiene que tener en cuenta el color del papel utilizado para la impresión, pues eso también modifica el color resultante[Verbok, 2021].

## 3. El arcoíris

### 3.1. Dispersión de luz

Para hablar sobre la formación del arcoíris en el cielo, primero se repasarán algunos conceptos. Como es bien sabido, este fenómeno meteorológico ocurre gracias a la dispersión de la luz provocada por las gotas de agua.

La dispersión de la luz involucra los procesos de transmisión, reflexión y refracción, y son esenciales para entender fenómenos como la formación de un arcoíris. Cuando la luz blanca incide en un medio, como las gotas de agua en la atmósfera, cada longitud de onda se comporta de manera diferente. La reflexión dirige parte de la luz de vuelta al medio original, mientras que la refracción altera su trayectoria al pasar a un nuevo medio. Durante la transmisión, la luz se desplaza a diferentes velocidades dependiendo de su longitud de onda, lo que causa la separación de colores. Estas interacciones combinadas dispersan la luz en sus componentes del espectro visible, produciendo los colores característicos del arcoíris.

### 3.2. Transmisión e índice de refracción

Cuando la luz se transmite a través de un medio homogéneo, este proceso se lleva a cabo de forma continua y repetitiva. Cada vez que la luz se transmite a un nuevo medio, esta experimenta un desplazamiento o cambio de fase, lo cual se traduce en un cambio en la velocidad del haz de luz transmitido, con respecto a su valor en el vacío ( $c$ ). A este cambio se le conoce como índice de refracción ( $\eta$ ). Cada medio tiene un valor de índice de refracción diferente, el cual es mayor o igual a 1, esto debido a que  $\eta = 1$  en el vacío.

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (2)$$

En el Apéndice **A** correspondiente a las tablas, se muestra la tabla correspondiente a los índices de refracción de algunas sustancias.

De la *ecuación 2* se puede despejar la velocidad de la luz cuando es transmitida en un medio:

$$v = \frac{c}{\eta} \quad (3)$$

Donde se puede notar que la velocidad de un haz de luz transmitido en una sustancia es diferente y menor a la velocidad de la luz en el vacío ( $v \leq c$ ).

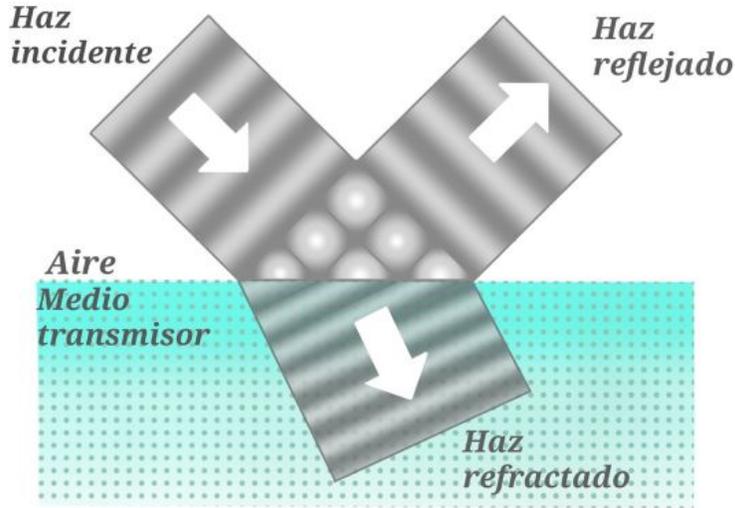


Figura 8: Diagrama del haz de luz reflejado y transmitido.

### 3.2.1. Reflexión

Cuando una haz de luz llega a una interfaz, parte de la luz es transmitida y parte de la luz se refleja hacia el medio incidente, a este fenómeno se le conoce como *reflexión*.

Existen dos tipos de reflexión. Cuando la luz se transmite de un medio de menor densidad óptica a uno de mayor densidad, se denomina como *reflexión externa*. Esto es que el índice de refracción del medio incidente ( $\eta_i$ ) es menor que el índice de refracción del medio transmisor ( $\eta_t$ ):  $\eta_i < \eta_t$ .

Por otro lado, cuando la luz se transmite de un medio de mayor densidad óptica a uno de menor, se denomina *reflexión interna*, de manera que el índice de refracción del medio incidente es mayor que el índice de refracción del medio transmisor:  $\eta_i > \eta_t$ .

Dichas reflexiones dependen también del ángulo de incidencia.

#### Ley de la reflexión

Si se supone un haz de luz que va a adentrarse en un medio transmisor, parte de la luz será reflejada para el medio incidente y tendrá una trayectoria en una única dirección, por lo que solo habrá un haz reflejado bien definido como se muestra en la *figura 8* [Hecht, 2000].

La dirección del haz reflejado está determinada por el ángulo que forma la onda incidente con la interfaz, llamado ángulo de incidencia ( $\theta_i$ ).

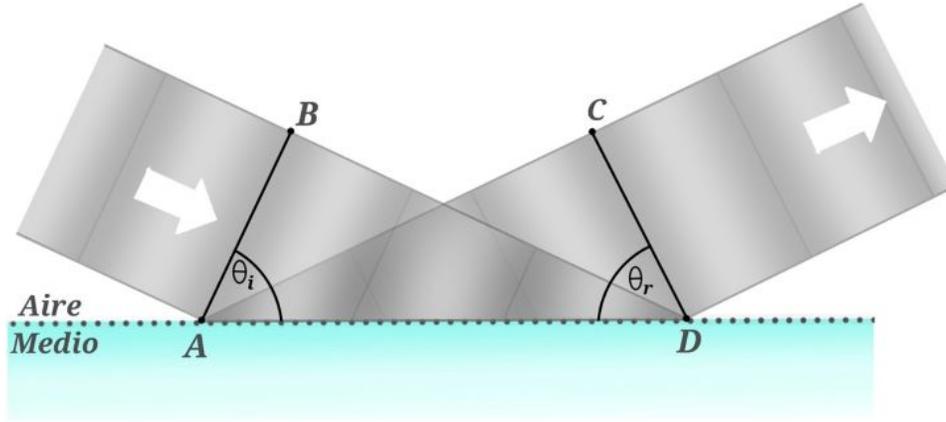


Figura 9: Diagrama del haz de luz reflejado al incidir sobre un medio.

Como se puede observar en la *figura 9*, el haz que entran por la izquierda, se reflejan a la derecha. Se puede notar que los triángulos formados por **ABD** y por **ACD**, son triángulos rectángulos que comparten la misma hipotenusa, de manera que por trigonometría se tiene la siguiente relación:

$$\text{sen}(\theta_i) = \frac{co}{h} = \frac{\overline{BD}}{\overline{AD}} \Rightarrow \overline{AD} = \frac{\overline{BD}}{\text{sen}(\theta_i)} \quad (4)$$

$$\text{sen}(\theta_r) = \frac{co}{h} = \frac{\overline{AC}}{\overline{AD}} \Rightarrow \overline{AD} = \frac{\overline{AC}}{\text{sen}(\theta_r)} \quad (5)$$

Se pueden igualar  $\overline{AD}$  de las *ecuaciones 4 y 5*, para obtener:

$$\begin{aligned} \frac{\overline{BD}}{\text{sen}(\theta_i)} &= \frac{\overline{AC}}{\text{sen}(\theta_r)} \\ \Rightarrow \frac{\text{sen}(\theta_i)}{\overline{BD}} &= \frac{\text{sen}(\theta_r)}{\overline{AC}} \end{aligned} \quad (6)$$

Estas ondas viajan con la misma velocidad pues se encuentran en el mismo medio, sea  $v_i$  la velocidad en el medio incidente (aire), de manera que  $v = d/\Delta t \Rightarrow d = v\Delta t$ , donde la distancia será  $\overline{BD}$  y  $\overline{AC}$ , por lo que se tendrá la siguiente relación:

$$\overline{BD} = v_i \Delta t = \overline{AC} \quad (7)$$

Sustituyendo *7* en *6*, se obtiene;

$$\begin{aligned} \frac{\text{sen}(\theta_i)}{v_i \Delta t} &= \frac{\text{sen}(\theta_r)}{v_i \Delta t} \\ \Rightarrow \text{sen}(\theta_i) &= \text{sen}(\theta_r) \\ \Rightarrow \theta_i &= \theta_r \end{aligned} \quad (8)$$

La *ecuación 8* es conocida como la *ley de la reflexión*. Por lo que se puede concluir que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Simplificando la idea anterior, se puede ver su representación usando rayos, los cuales son una representación gráfica lineal que corresponde a la dirección del flujo.

Cuando se dibuja un rayo incidente y otro reflejado, se tendrá que todos los ángulos se medirán ahora desde la normal a la superficie de incidencia, de manera que  $\theta_i$  y  $\theta_r$  mantendrán los mismos valores antes mostrados.

Tanto el rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encontrarán sobre el mismo plano, al cual se le conoce como *plano de incidencia*.

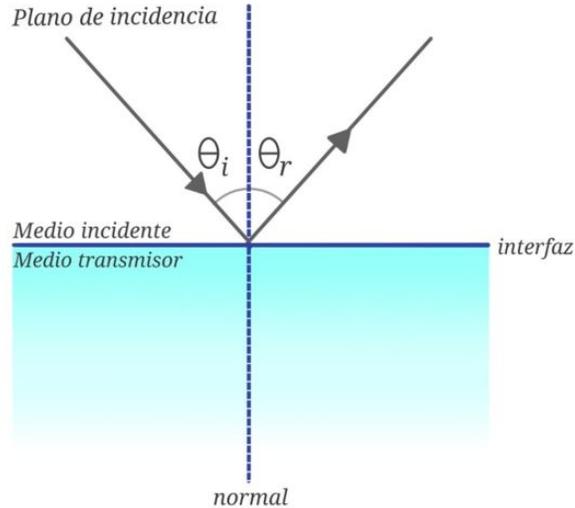


Figura 10: Representación con rayos del haz incidente y el haz reflejado.

### 3.2.2. Refracción

Como se observa en la *figura 8*, la luz transmitida no tiene la misma dirección que el haz incidente. A este cambio en la dirección se le conoce como *refracción*. Esto ocurre debido a que la velocidad en el medio transmisor es diferente a la velocidad en el medio incidente, de manera que la onda transmitida se propaga con una velocidad  $v_t < v_i$  [Hecht, 2000].

#### Ley de la refracción

En la *figura 11* se puede observar como el haz de luz se desvía al entrar en el medio transmisor debido al cambio en la velocidad. En el tiempo  $\Delta t$ , que es el que invierte el haz en llegar del punto **B** hasta el punto **D** con una velocidad  $v_i$ , es el mismo en que el haz pasa por el punto **A** y llega al punto **E** con una velocidad  $v_t$  ( $v_i \neq v_t$ ).

Si  $\eta_t < \eta_i$ ,  $v_t < v_i$  y  $\overline{AE} < \overline{BD}$ , el haz de luz se doblará al refractarse. Dicho haz refractado que se extiende del punto **E** al **D**, forma un ángulo  $\theta_t$  con la interfaz.

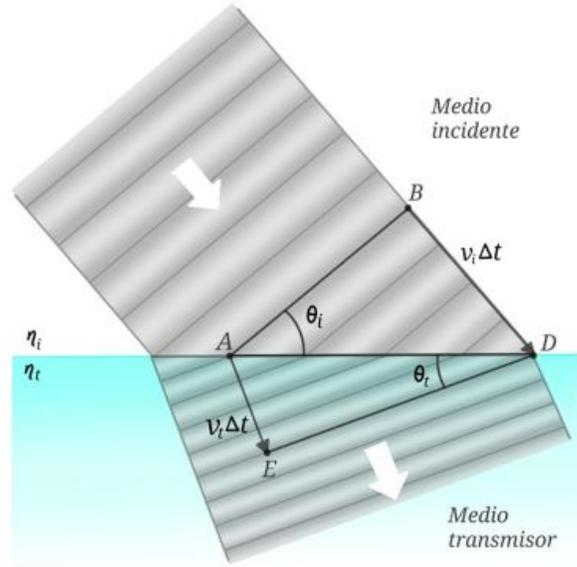


Figura 11: Diagrama que muestra la desviación del haz de luz cuando se transmite en un medio.

Como se puede observar, los triángulos **ABD** y **AED** comparten la hipotenusa  $\overline{AD}$ , de modo que:

$$\text{sen}(\theta_i) = \frac{co}{h} = \frac{\overline{BD}}{\overline{AD}} \Rightarrow \overline{AD} = \frac{\text{sen}(\theta_i)}{\overline{BD}} \quad (9)$$

$$\text{sen}(\theta_t) = \frac{co}{h} = \frac{\overline{AE}}{\overline{AD}} \Rightarrow \overline{AD} = \frac{\text{sen}(\theta_t)}{\overline{AE}} \quad (10)$$

Igualando  $\overline{AD}$  de las ecuaciones 9 y 10, se obtiene:

$$\frac{\text{sen}(\theta_i)}{\overline{BD}} = \frac{\text{sen}(\theta_t)}{\overline{AE}} \quad (11)$$

Se sabe que  $v = d/\Delta t \Rightarrow d = v\Delta t$ , por lo que se puede escribir  $\overline{BD} = v_i\Delta t$  y  $\overline{AE} = v_t\Delta t$ , al sustituir en la ecuación 11, se obtiene:

$$\frac{\text{sen}(\theta_i)}{v_i} = \frac{\text{sen}(\theta_t)}{v_t} \quad (12)$$

Si se multiplica la ecuación 12 por  $c$ , dado que  $\eta = c/v$ , se puede reescribir como:

$$\begin{aligned} c\left(\frac{\text{sen}(\theta_i)}{v_i}\right) &= c\left(\frac{\text{sen}(\theta_t)}{v_t}\right) \\ \Rightarrow \eta_i \text{sen}(\theta_i) &= \eta_t \text{sen}(\theta_t) \end{aligned} \quad (13)$$

La ecuación 13 es conocida como la *ley de la refracción* o *ley de snell*.

Si se transforma el diagrama mostrado en la figura 11 en una representación de rayos como se hizo con la ley de la reflexión, se podrá observar que los rayos incidentes, los rayos reflejados y los rayos refractados, se encuentran sobre el mismo *plano de incidencia*.

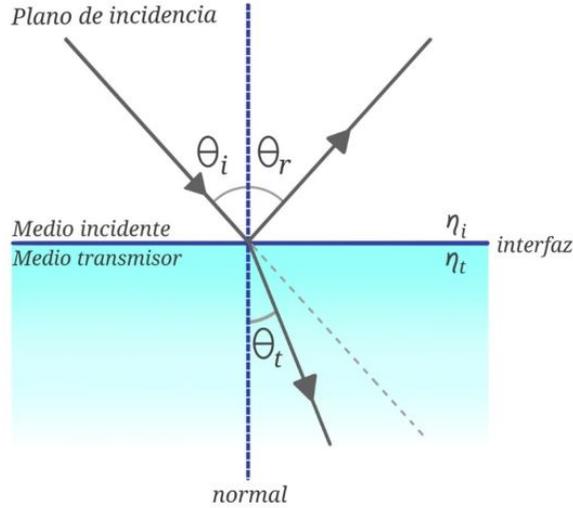


Figura 12: Representación con rayos de la ley de snell.

Cuando la luz viaja de un medio con menor índice de refracción a otro de mayor índice de refracción, es decir  $\eta_i < \eta_t$ , de la ley de snell se puede observar que  $\text{sen}(\theta_i) > \text{sen}(\theta_t)$ , por lo que  $\theta_i > \theta_t$ , de manera que el rayo se doblará hacia la normal.

Análogamente para el caso contrario, si  $\eta_i > \eta_t$ ,  $\theta_i < \theta_t$ , cuando la luz viaja de un medio con índice de refracción mayor al del medio transmisor, la luz se alejará de la normal.

### 3.3. Formación del arcoíris

Se analizaron los conceptos dispersión de la luz, transmisión, reflexión y refracción, que serán útiles para comprender cómo se origina un arcoíris. Como ya se sabe, es posible observar un arcoíris cuando hay presencia de gotas de agua en el ambiente (ya sea lluvia, el rocío de una cascada o incluso un aspersor) y luz solar o reflejada por la luna, ya sea un arcoíris solar (comúnmente conocido sólo como arcoíris) o un arcoíris lunar.

Para que sea posible ver un arcoíris, el cielo debe estar medianamente despejado, para que la luz del Sol logre alcanzar las gotas de agua y esta se disperse.

Para comprender mejor la formación de un arcoíris se presenta el siguiente diagrama.

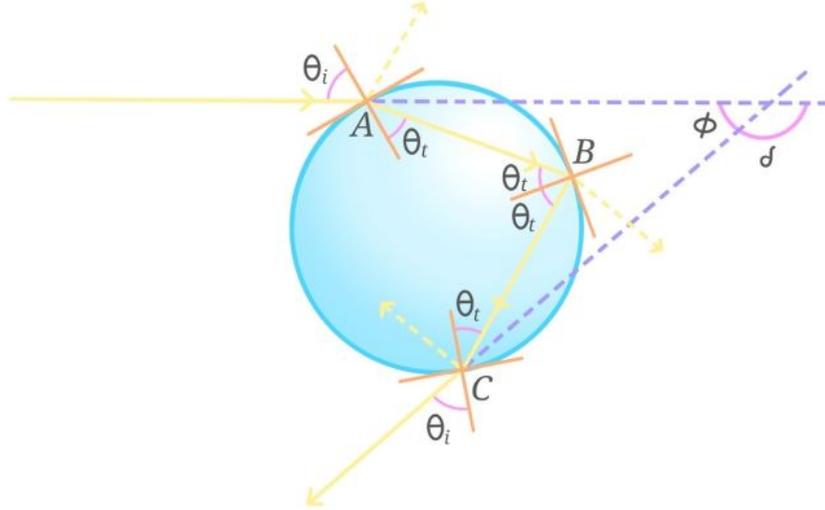


Figura 13: Diagrama del camino que sigue el haz de luz dentro de la gota de agua.

En la *figura 13* se puede observar un haz de luz, representado como un rayo, incidiendo en una gota esférica de agua. Cuando el haz incide en el punto **A** con un ángulo de incidencia  $\theta_i$ , parte de la luz se refleja y parte se transmite al interior de la gota con un ángulo de refracción  $\theta_t$  dado por la *ley de snell*. Dentro de la gota, la luz viaja del punto **A** al punto **B**, donde el haz alcanza la interfaz agua-aire donde parte de la luz se transmitirá y parte se reflejara con un ángulo  $\theta_t$  por la *ley de la reflexión*. La parte reflejada viajara del punto **B** al punto **C**, donde nuevamente parte de la luz sera reflejada y parte de la luz se transmitirá al hacia el exterior de la gota con el mismo ángulo  $\theta_i$  con el que entro a ella [Lewin, 2002].

Si se extienden los rayos incidente y de salida, se puede encontrar su intersección fuera de la gota, los cuales formaran dos ángulos, a los cuales les denominaremos:  $\phi$  y  $\delta$ . Donde  $\phi$  será el ángulo entre los rayos y  $\delta$  el ángulo del cambio total de dirección del haz de luz incidente, de manera que:

$$\delta = 180^\circ + 2\theta_i - 4\theta_t \quad (14)$$

Donde el valor  $2\theta_i$  se refiere a las dos veces que el ángulo  $\theta_i$  apporto un cambio en dicha dirección, asimismo el valor  $4\theta_t$  son las cuatro veces que el ángulo  $\theta_t$  genero un cambio de dirección dentro de la gota. Asimismo, el ángulo  $\phi$  estará dado por  $\phi = 180^\circ - \delta$ , de manera que si se sustituye la *ecuación 14*, se obtiene:

$$\phi = 180^\circ - (180^\circ + 2\theta_i - 4\theta_t) \Rightarrow \phi = 4\theta_t - 2\theta_i \quad (15)$$

El ángulo de incidencia  $\theta_i$  puede tomar valores de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , siendo  $0^\circ$  cuando incide justo en el centro de la gota y  $90^\circ$  cuando incide tangencialmente a la gota. Al hacer variar el valor de  $\theta_i$  y calculando el valor de  $\theta_t$  usando la ley de snell (tomando el índice de refracción del agua  $\eta_t = 1.33$ ), así como los valores de  $\delta$  y  $\phi$  con las ecuaciones antes mencionadas, se obtendrá una serie de valores que se pueden observar en la *tabla 4* en el Apéndice **A**.

En la *tabla 4* se puede observar que el valor mínimo de  $\delta$  obtenido es  $\delta_{min} \approx 138^\circ$ , por lo que el valor máximo que podrá tener  $\phi$  será  $\phi_{Max} \approx 42^\circ$ .

En la *tabla 5* que se muestra en el Apéndice **A**, se puede observar que el índice de refracción del color rojo ( $700nm$ ) es de  $\eta = 1.331$ , para el color naranja ( $600nm$ )  $\eta = 1.332$ , para el color amarillo ( $575nm$ )  $\eta = 1.333$ , para el color verde ( $525nm$ )  $\eta = 1.334$ , para el color azul ( $475nm$ )  $\eta = 1.336$  y finalmente para el color violeta ( $400nm$ )  $\eta = 1.339$ , lo cual hará que el valor de los ángulos cambien para cada color.

El ángulo de incidencia para el cual  $\phi_{Max}$  es máximo, esta dado por:

$$\theta_i = \arccos \sqrt{\frac{\eta^2 - 1}{3}} \quad (16)$$

Sustituyendo la *ecuación 16* en la *ecuación 15*, podemos calcular el ángulo  $\phi_{Max}$  en términos del índice de refracción  $\eta$ .

$$\phi_{Max} = 4 \arcsin \frac{\sin(\arccos \sqrt{\frac{\eta^2 - 1}{3}})}{\eta} - 2 \arccos \sqrt{\frac{\eta^2 - 1}{3}} \quad (17)$$

Se puede ahora calcular el ángulo de incidencia  $\theta_i$  y el ángulo  $\phi_{Max}$ , por lo que se obtendrán los siguientes valores.

Color	$\lambda[nm]$	$\eta$	$\theta_i[^\circ]$	$\phi_{Max}[^\circ]$
Rojo	700	1.331	59.53	42.4
Naranja	600	1.332	59.47	42.2
Amarillo	575	1.333	59.41	42.1
Verde	525	1.334	59.35	41.9
Azul	475	1.336	59.24	41.6
Violeta	400	1.339	59.06	41.2

Cuadro 2: Ángulos  $\phi_{Max}$  y  $\theta_i$  en calculados en términos de  $\eta$ .

El ángulo  $\phi_{Max} \approx 42^\circ$  es el ángulo clave para la formación de un arcoíris. Si se supone de nuevo que tenemos una gota de agua esférica en la cual la luz incide en todos los ángulos posibles de  $\theta_i$ , la luz que atraviesa la gota y hace el recorrido completo, es decir, entra por **A**, se refleja en **B** y sale por **C**; formará un cono de luz, el cual por simetría podemos visualizar como el cono que forma un ángulo  $\phi \approx 42^\circ$  alrededor del eje axial del haz de luz, como se muestra en la *figura 14* [Aegerter, 2018].

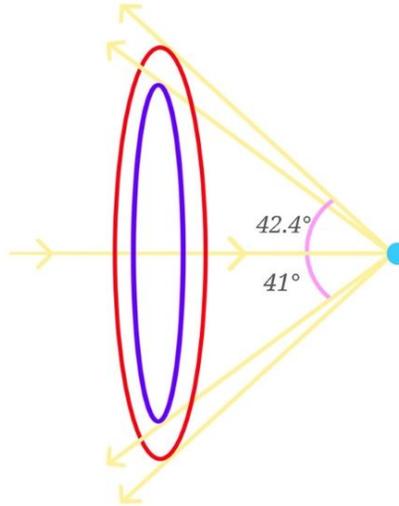


Figura 14: Diagrama de los conos de luz formados por el color rojo y el violeta.

El ángulo  $\phi_{Max} = 42.4^\circ$  es relevante debido a que es el ángulo entre el haz incidente entrante y el saliente del color rojo, y corresponde al mayor de los ángulos  $\phi$  del espectro visible, ya que el color violeta tiene un ángulo  $\phi \approx 41^\circ$ . De manera que si el ángulo  $\phi < 41^\circ$  se verá luz blanca y si el ángulo  $\phi > 42.4^\circ$  no habrá presencia de luz. Por lo que entre el círculo formado por el color rojo y el círculo formado por el color violeta, se verán los demás colores de la luz, formando un arcoíris. Sin embargo, el cálculo se realizó tomando en cuenta el haz de luz Solar, como si el Sol se tratara de un punto, pero el diámetro aparente del Sol en el cielo es de  $\frac{1}{2}^\circ$  por lo que el arcoíris tendrá una anchura aparente de  $1.7 - 2^\circ$ .

Para observar un arcoíris debe estar lloviendo del lado opuesto a donde se encuentre el Sol, ya que si está lloviendo del lado donde se encuentra el Sol, no será posible observar un arcoíris porque el Sol no alcanzará a las gotas, pues estará nublado. Por lo que para poder observar un arcoíris es importante que este lloviendo en la dirección opuesta al Sol pero que aun sea posible observar el Sol, asimismo, importa la dirección en que se esté mirando, pues cada gota producirá su propio cono de luz [Lewin, 2002].

Suponiendo ahora que uno se encuentra en la situación mostrada en la figura 15, donde el Sol se encuentra en el horizonte, por lo que la luz que llega se verá representada por un rayo horizontal amarillo en el diagrama. Si se levanta la mirada hacia el cielo pero se observa muy hacia arriba, no será posible ver nada pues, como se mencionó antes, si  $\phi > 42.4^\circ$  no habrá presencia de luz. Ahora en el caso contrario, en el que se observe hacia el horizonte o con un ángulo menor a  $42^\circ$ , se estará observando dentro del cono de luz, por lo que se verá luz blanca. Si se supone ahora que se levanta la vista en dirección a un ángulo en específico igual a  $42^\circ$ , si eso ocurre lo que se observará será luz roja, pues estamos mirando justo en dirección del cono formado por el color rojo. De esta manera es que cada gota contribuye a que sea posible observar un arcoíris en el cielo.

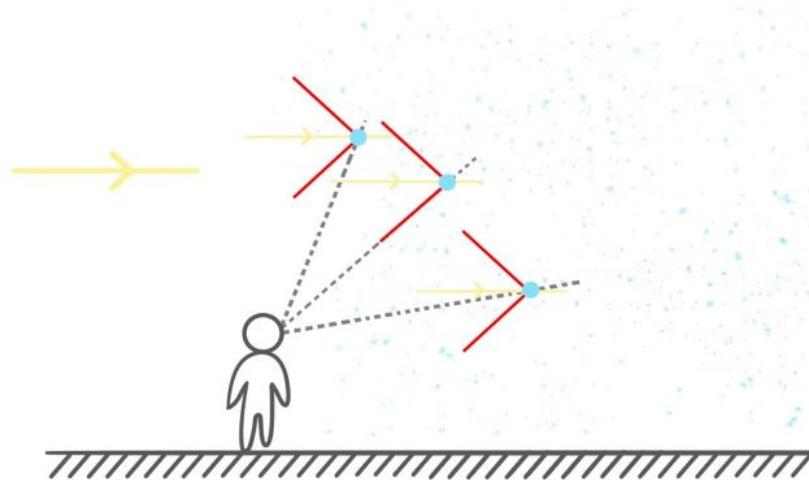


Figura 15: Diagrama de los diferentes conos de luz formados por las gotas de lluvia que se pueden observar y la contribución de cada una al observar un arcoíris en el cielo.

Para poder observar un arcoíris, el Sol debe encontrarse en una posición relativamente alta en el cielo, pero no tan alta como el mediodía, ya que en ese caso no sería posible ver el arcoíris. Esto se puede entender con mayor claridad utilizando el siguiente diagrama.

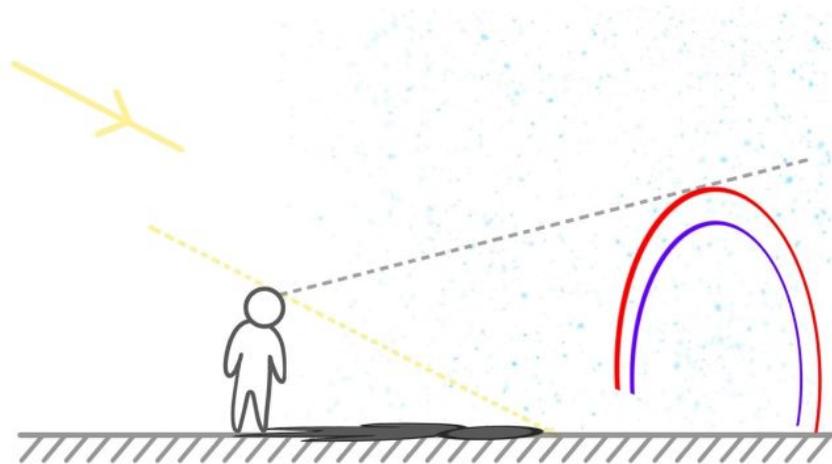


Figura 16: Diagrama para la observación de un arcoíris.

Como se puede apreciar en la *figura 16*, el Sol se encuentra en una posición alta en el cielo y genera sombra. Para ver un arcoíris, se trazará una línea imaginaria desde lo alto de la cabeza hacia lo alto de la cabeza de la sombra. A partir de esa línea, que se tomará como referencia, se debe alzar la mirada aproximadamente  $42^\circ$ , y en ese punto será visible el arcoíris. Conforme el Sol se acerque al horizonte, el arcoíris aparecerá más alto en el cielo con respecto al horizonte, y viceversa. Los casos límites son, por un lado, cuando el Sol está en el horizonte y, por otro lado, cuando el Sol está directamente arriba, generando una sombra muy pequeña, lo cual impide ver un arcoíris en el horizonte.

## 4. El ojo humano

Como se vio en la sección **Luz y color**, el color es una senso-percepción del cerebro humano ante un estímulo.

Dicho estímulo se puede observar gracias a luz que incide en los objetos, pero para que el ser humano perciba los colores y formas de los objetos que le rodean, necesita un detector, el cual, en este caso son los ojos, por eso es importante entender las partes que los componen, cómo funcionan estos detectores y de qué depende que sea capaz de poder percibir los colores el ser humano.

### 4.1. Anatomía del ojo humano

Se pueden distinguir principalmente tres tipos de ojos en la naturaleza [Bogdanov, 1999]:

- Los que reúnen luz radiante y forman imágenes por medio de un sistema de lentes.
- Los que se componen por múltiples facetas, cada una con su propia lente, que captan la luz y la canalizan de manera similar a cómo funcionan las fibras ópticas.
- Los más primitivos que funcionan como un pequeño agujero sin lente, por el cual entra la luz.

Los ojos del primer tipo, son los que se han desarrollado independientemente para diferentes seres vivos, entre los cuales se encuentran los seres humanos.

El ojo humano se considera como un sistema óptico formado por dos lentes, positivas o convergentes, que forman una imagen real e invertida de lo que se observa, en una superficie fotosensible dentro del ojo llamada retina. Se cree que el primero en realizar dicha observación fue Johannes Kepler, quien en 1604 escribió "*Afirmo que la visión se produce cuando la imagen del mundo externo se proyecta sobre la retina cóncava*" [Aegerter, 2018; Bogdanov, 1999].

Para describir el funcionamiento del ojo humano, primero se debe conocer las partes que lo conforman. A continuación se muestra un diagrama de la anatomía del ojo humano.

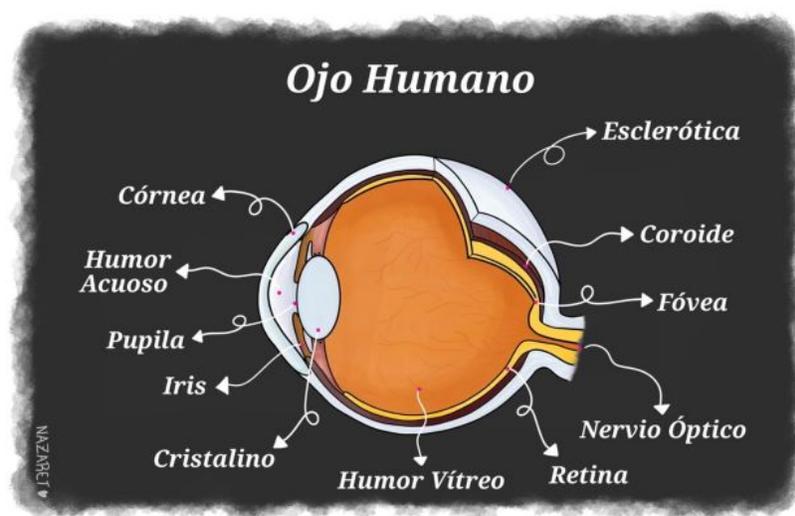


Figura 17: Diagrama simplificado de la anatomía del ojo humano.

La *figura 17* es un diagrama del ojo humano donde se pueden identificar y visualizar las diferentes partes que componen al ojo y poder pasar a la descripción del funcionamiento de dichas partes.

## 4.2. Funcionamiento del ojo

Cuando la luz llega a la córnea, la cual es el primer lente del sistema óptico del ojo humano, esta se desvía debido a la curvatura de la córnea y a su índice de refracción el cual es de  $\eta_c = 1.376$ . La córnea tiene un diámetro promedio de  $12mm$  y tiene una potencia aproximada de  $+43D$ .

Después de la córnea, la luz pasa a través del humor acuoso, el cual es un medio homogéneo y tiene un índice de refracción de  $\eta_{ha} = 1.336$ , debido a la similitud entre los índices de refracción del la córnea y el humor acuoso, el rayo casi no se desvía, solo es ligeramente redirigido y de esta manera a traviesa por la pupila [Puell, 2006].

La abertura de la pupila varia según la cantidad de luz presente en nuestro entorno, pero el tamaño promedio va de los  $2 - 3mm$  de diámetro cuando hay luz brillante, hasta los  $8mm$  en condiciones de oscuridad; cabe mencionar que el tamaño promedio de la pupila disminuye conforme aumenta la edad.

Como se mencionó con anterioridad, el iris es el responsable de aumentar o disminuir el tamaño de la pupila, dicha función esta relacionada también con el proceso de enfoque, pues al contraerse aumenta la nitidez de la imagen y ayuda a realizar trabajos finos.

La luz que atraviesa por la pupila, incide en sobre el cristalino, el cual es la segunda lente del sistema óptico y tiene una potencia aproximada de  $+20D$ , además al estar formado por varias capas no tiene un índice de refracción específico, por lo que este varía de aproximadamente  $\eta_{Cr} = 1.406$  en el núcleo hasta  $\eta_{Cr} = 1.386$  en la corteza menos densa [Hecht, 2000; Puell, 2006].

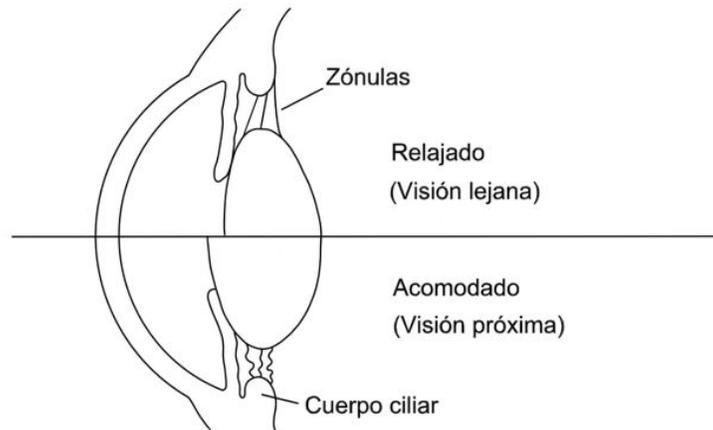


Figura 18: Diagrama de como el cristalino cambia su tamaño para modificar el enfoque [Puell, 2006].

El cristalino puede cambiar su forma para modificar el enfoque del ojo, como se muestra en la *figura 18*, dicho cambio en su forma se debe a la variación en la tensión que ejercen los ligamentos suspensorios de la zónula de Zinn que rodean al cristalino hasta el cuerpo ciliar. El cambio en la forma permite al ojo enfocar a distancias lejanas y a distancias próximas. El punto mas cercano en el cual un ojo es capaz de enfocar, se denomina como punto próximo, dicha distancia depende de la edad, para un adolescente en promedio son  $7cm$ , para un adulto joven es de  $25cm$  y para las personas de mediana edad es de aproximadamente  $100cm$ . La flexibilidad y transparencia del cristalino, se va perdiendo conforme aumenta la edad.

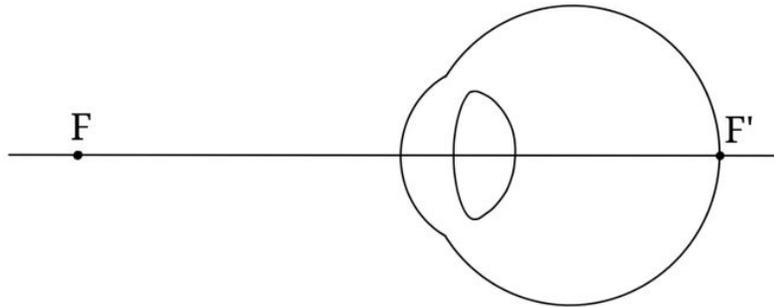
Debido a la estructura laminar que presenta el cristalino, la luz que pasa por él sigue una trayectoria formada por diminutos segmentos discontinuos, para después atravesar por el humor vítreo, cuyo índice de refracción es de  $\eta_{hv} = 1.337$  y finalmente llegar a la retina, donde se forma la imagen y podemos percibirla gracias a las células foto-sensibles, llamadas conos y bastones (de las cuales se hablara con mayor detalle en la sección de fotorreceptores), y al millón (aproximadamente) de fibras nerviosas que pasan por el nervio óptico que conectan a la retina con el cerebro [Hecht, 2000; Puell, 2006; Zeiss, 2017a].

#### 4.2.1. Formación de imágenes

Después de describir el trayecto que realiza un rayo de luz al entrar al globo ocular, para llegar a la capa foto-sensible y antes de continuar con la sección de fotorreceptores, se profundizará en cómo se forma la imagen en la retina.

Para describir como se forma la imagen en la retina, se usará el modelo del ojo esquemático paraxial, dicho modelo usa los valores medios de los parámetros oculares para simplificar el sistema ocular y de esa manera poder estudiar sus propiedades de manera más sencilla.

En el modelo del ojo esquemático, se asume que las superficies refractivas son esféricas y centradas sobre un eje óptico común y toma a los índices refractivos como constantes en cada medio, además, las superficies refractivas de la córnea y el cristalino son perpendiculares al eje óptico y sus centros de curvatura están situados en el mismo. Este modelo es exacto solo en la región paraxial, la cual se define como la región en que los senos de los ángulos se pueden sustituir por los ángulos y no genera un error apreciable, es decir,  $\text{sen}\theta \approx \theta$ .



El diagrama del ojo esquemático se muestra en la *figura 19*. Usando este modelo para la formación de imagen, se asume que los rayos que forman la imagen se comportan como paraxiales, por lo que se ignoran las posibles aberraciones y la curvatura de la retina.

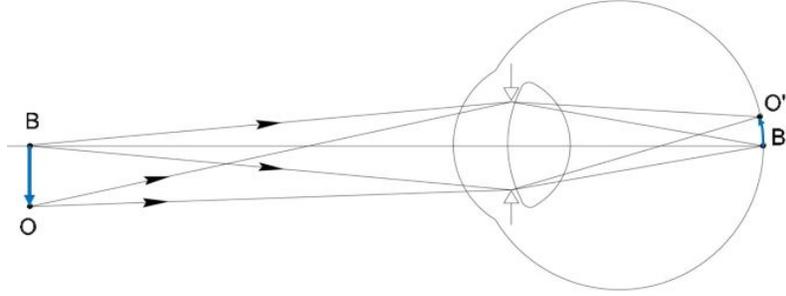


Figura 20: Diagrama de la formación de imagen retiniana en el modelo del ojo esquemático. Basado en el original [Puell, 2006].

Como se observa en la *figura 20*, un objeto se encuentra del punto **B** al punto **O**, de manera que los haces procedentes de dichos puntos, entran por la córnea y pasan a través del cristalino, para llegar a la retina y formar la imagen entre los puntos **B'** y **O'**, al ser una lente positiva y convergente se tiene que la imagen que se forma en la retina es reducida e invertida, después el cerebro lleva el proceso de invertir de nuevo la imagen para que sea percibida adecuadamente por el ser humano [Puell, 2006].

De hecho este conocimiento, que la imagen que se forma es reducida e invertida, se tiene desde 1625 cuando Christopher Scheiner realizó un experimento, le quito el revestimiento posterior al globo ocular de un animal, dejando la capa de la retina casi transparente, y al mirar a través de este pudo ver una imagen reducida e invertida [Hecht, 2000].

Es importante diferenciar entre la imagen retiniana y la imagen óptica. La imagen retiniana es aquella que se produce en la retina del ojo, ya sea que este enfocada o no, dependiendo de las circunstancias; mientras que la imagen óptica se refiere a la imagen nítida que se formaría por el sistema refractivo del ojo suponiendo que no hay retina.

Para conocer la posición y el tamaño de la imagen óptica, se puede partir de que la potencia  $F$  de una superficie refractiva esférica esta dada por:

$$F = \frac{\eta'}{f'} = -\frac{\eta}{f} = \frac{\eta' - \eta}{r} = \frac{\eta'}{s'} - \frac{\eta}{s} \Rightarrow F = \frac{\eta'}{s'} - \frac{\eta}{s} \quad (18)$$

La *ecuación 18*, se puede escribir en términos de vergencia, la cual se usa para determinar la inversa de la distancia a la imagen u objeto por el índice de refracción del medio. Las vergencias del objeto y de la imagen,  $S$  y  $S'$  respectivamente, tienen unidades de dioptrías, por lo que se les conoce como distancias dióptricas [Puell, 2006].

La vergencia del objeto esta dada por:

$$S = \frac{\eta}{s} \quad (19)$$

Y la vergencia de la imagen esta dada por:

$$S' = \frac{\eta'}{s'} \quad (20)$$

De manera que al sustituir las *ecuaciones 19 y 20* en la *ecuación 18*, se obtiene:

$$F = S' - S \Rightarrow S' = S + F \quad (21)$$

De la misma manera que se reescribió la potencia  $F$  en términos de las vergencias, se puede reescribir el aumento transversal, el cual esta dado por:

$$M_T = \frac{y'}{y} = \frac{\eta s'}{s \eta'} = \frac{\eta s'}{s \eta'} = \frac{S}{S'} \quad (22)$$

Donde  $y$  es el tamaño del objeto y  $y'$  es el tamaño de la imagen óptica, por lo que al despejar  $y'$  se tendrá:

$$y' = y \frac{S}{S'} \quad (23)$$

Teniendo en cuenta que el origen del marco de referencia se encuentra en donde se cruzan el eje óptico y la superficie refractiva del ojo (la córnea), la distancia al objeto  $s$  sera negativa y por consiguiente  $S$  sera negativa, debido a la *ecuación 19*.

Además, se puede observar lo que ocurre con  $S'$  gracias a la *ecuación 21*, pues al ser la potencia estándar del ojo de  $F_o = +60D$ ,  $S'$  sera positiva y por consiguiente  $S' > S$ .

De manera que el cociente  $S/S'$ , de la *ecuación 23*, sera negativo y menor que 1, así que al multiplicarlo por el tamaño del objeto  $y$ , el resultado sera negativo y además  $y' < y$ .

Por lo tanto la imagen del objeto sera reducida e invertida y al encontrarse del lado derecho de la lente, también se dice que la imagen es real.

### 4.3. Fotorreceptores

La retina cuenta con dos tipos de células foto-sensibles, los conos y los bastones, ambas células son fotorreceptoras, la diferencia reside en que operan a diferentes niveles de luminancia. La luz que es absorbida por los fotorreceptores produce impulsos nerviosos que viajan a lo largo de red neuronal y posteriormente por el nervio óptico hacia el cerebro [Davidovits, 2013].

Los bastones tiene un diámetro de  $0.002mm$ , mientras que los conos tienen un diámetro no uniforme de  $0.006mm$ ; aproximadamente 125 millones de dichas células, se encuentran mezcladas de manera no uniforme sobre la retina. En el área de la mácula lútea hay una cantidad de conos mayor al doble que de bastones, y en el centro, donde se encuentra la fovea, solo hay conos, es una región libre de bastones por lo que se trata de la zona del ojo que proporciona información mas clara y detallada al cerebro [Davidovits, 2013; Puell, 2006].

#### 4.3.1. Visión escotópica y fotópica

La diferencia entre visión escotópica (visión nocturna) y fotópica (vision diurna) reside en la cantidad de luz en el entorno y por consiguiente en las células fotorreceptoras que se estimulan.

Los conos son los encargados de la visión a color y por lo mismo necesitan un entorno con mayor luminancia para comenzar a detectar, en otras palabras, los conos son los encargados de la visión fotópica.

Por otro lado los bastones no requieren de tanta presencia de luz en el entorno para poder distinguir

formas y objetos, como si se tratara de una película a blanco y negro con imágenes no tan bien definidas, en otras palabras, los bastones son los encargados de la visión escotópica [Hecht, 2000].

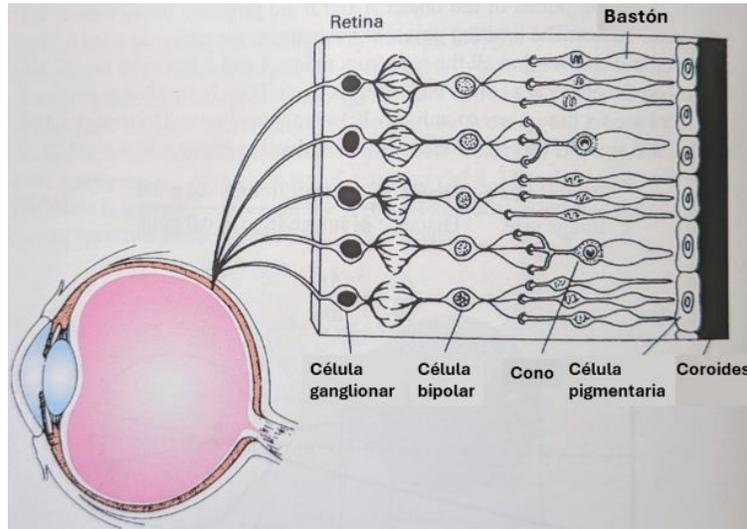


Figura 21: Diagrama de la estructura de la retina en el ojo humano. Imagen traducida del original [Davidovits, 2013].

### Visión escotópica

La visión escotópica es también conocida como visión nocturna o crepuscular. Los bastones permiten percibir cambios en la intensidad lumínica y ver tanto cuando hay mucha luz, como cuando esta oscuro, además son esenciales para la visión al anochecer.

Cuando anochece y los ojos cambian de visión fotópica a escotópica, cuanto menos luz haya, mas sensibles se vuelven los bastones para poder detectar la poca luz que hay en el entorno. Los ojos sanos tardan aproximadamente 25 minutos en adaptarse por completo a la visión escotópica, además, las pupilas se dilatan para dejar pasar la mayor cantidad de luz posible, es por esto mismo que la visión espacial se ve limitada, pues se pierde profundidad de campo y debido a la falta de contraste, el sistema óptico se suele cansar.

Las imágenes que se perciben son a blanco y negro (escala de grises), pues al haber poca luz en el entorno, esta no logra estimular a las células conos que se encargan de la visión a color [Zeiss, 2017a,b].

### Visión fotópica

La visión fotópica o visión diurna, es la visión en la que ambos tipos de células, tanto los bastones como los conos, participan, por lo que la visión fotópica tiene mayor definición que la escotópica.

El ojo humano cuenta con 3 diferentes tipos de conos [Zeiss, 2017b]:

- Los conos **L**, que detectan longitudes de onda larga, también conocidos como conos **R** (Red), pues las longitudes de onda que detectan principalmente corresponden al color rojo.
- Los conos **M**, que detectan longitudes de onda mediana, también conocidos como conos **G** (Green), pues las longitudes de onda que detectan principalmente corresponden al color verde.

- Los conos  $S$ , que detectan longitudes de onda corta, también conocidos como conos  $B$  (Blue), pues las longitudes de onda que detectan principalmente corresponden al color azul.

Como se menciona con anterioridad, los fotorreceptores están distribuidos de manera no uniforme en la retina y la visión mas aguda del ojo humano ocurre en la fovea. En la *figura 22* se muestra la distribución de las células fotorreceptoras en la retina, como se puede observar, en la fovea solo hay presencia de conos y los bastones se comienzan a presentar a los  $4^\circ$  del centro de la *fovea*.

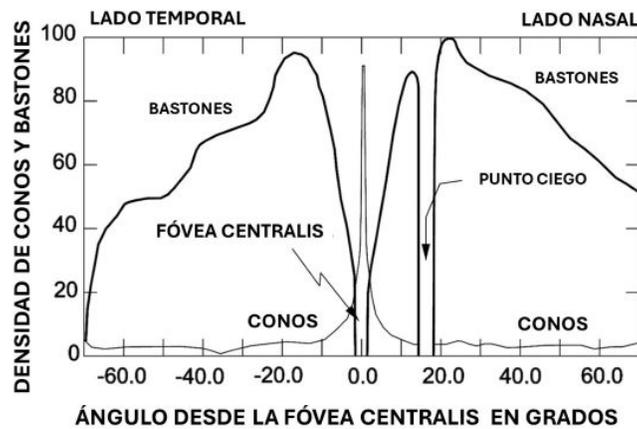


Figura 22: Distribución de las células conos y bastones en la retina. Imagen traducida del original [Malacara, 2011].

Los conos  $S$  (Blue) se diferencian de los  $L$  (Red) y los  $M$  (Green) en algunas características. Por mencionar las mas relevantes, los conos  $S$  están en menor cantidad que los conos  $L$  y  $M$ , de manera que están escasamente distribuidos por la retina y en la fovea están casi ausentes. Además, no contribuyen en la discriminación del contraste y en la percepción de la luminosidad. Sin embargo, son muy importantes para la percepción del hue y la cromaticidad [Malacara, 2011].

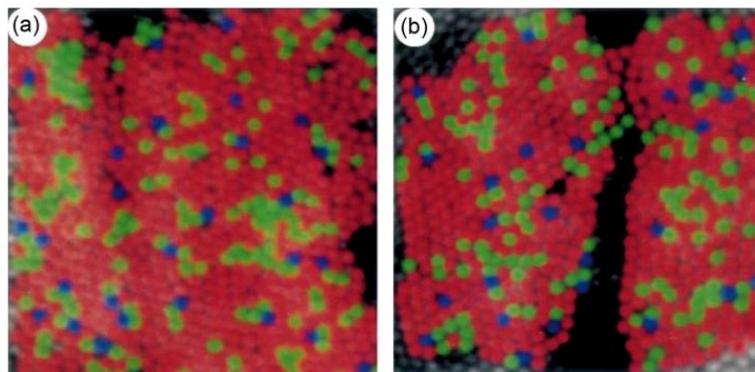


Figura 23: Imágenes de una retina humana tomadas con un oftalmoscopio con óptica adaptativa, por Roorda & Williams [Malacara, 2011].

La *figura 23* nos permite identificar los tres tipos de conos presentes en la retina, así como su distribución y la diferencia en cantidad de cada uno de ellos, se puede observar que los conos que predominan en la retina son los conos que detectan principalmente el color rojo.

### 4.3.2. Percepción del color

La absorción selectiva de la luz por los pigmentos conduce a la percepción del color. La luz que llega al ojo es absorbida por la retina. Las células responsables de la absorción son los bastones y los conos. Los bastones tienen un espectro de absorción amplio y son más sensibles a la luz tenue, pero no transmiten información sobre el color [Aegerter, 2018].

Los ojos humanos pueden percibir más de 200 hues distintos (el cual es el atributo del color que nos permite diferenciar en cual región del espectro visible se encuentra), y diferenciar entre más de 20 niveles de cromaticidad (que se refiere a la medida en que un color se diferencia de un color neutro (gris) de la misma luminancia) y 500 niveles de luminosidad [Zeiss, 2017b].

Esto debido a que los seres humanos cuentan con una visión tricromata, es decir, que cuentan con 3 diferentes células fotorreceptoras para 3 colores diferentes, los conos **L** (Rojo), **M** (Verde) y **S** (Azul).

Cada cono detecta diferentes longitudes de onda, y como ya se menciona en la sección "Luz y color", la luz incide sobre los objetos y absorbe ciertas longitudes de onda y refleja otras, por lo que dependiendo de la longitud de onda que llega a los ojos, son los conos que se activan y el color que se percibe. La intensidad de la excitación de estos conos determina la percepción del color. Por ejemplo, la luz roja es absorbida principalmente por los conos rojos, lo que envía una señal al cerebro de que la luz roja ha alcanzado el ojo. Para la luz amarilla, tanto los conos rojos como los verdes responden aproximadamente por igual, creando la percepción del color amarillo. En la *figura 24* se puede observar un ejemplo de como cada cono se estimula con las diferentes longitudes de onda.

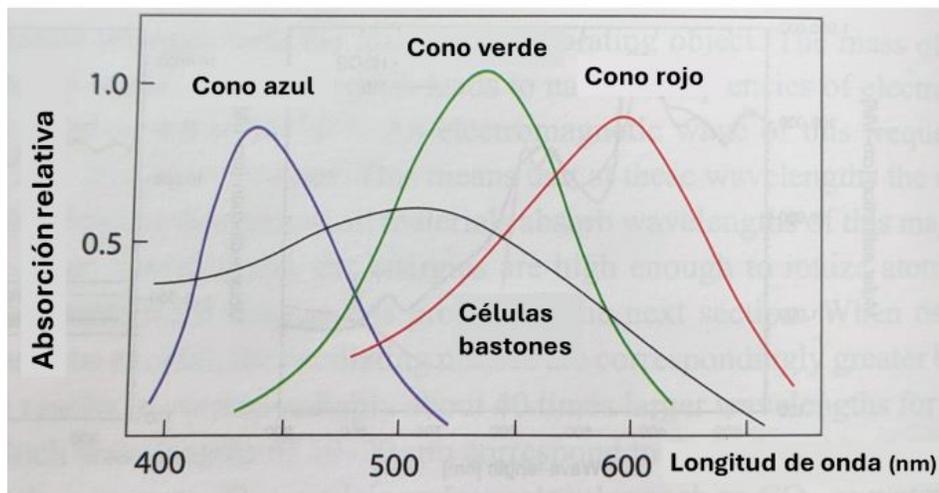


Figura 24: En la gráfica se muestra la diferencia entre el espectro de absorción de los tres tipos de conos y los bastones. Imagen traducida del original [Aegerter, 2018].

Los colores rojo, verde y azul, se perciben gracias a que esas longitudes de ondas son las que está reflejando el objeto y como los conos están diseñados para captar esas longitudes de onda, es por eso que se suele tomar a esos tres colores como los colores primarios de la luz. Mientras que las mezclas de colores, se pueden percibir debido a que el objeto absorbe ciertas longitudes de onda, por ejemplo a continuación se muestra que ocurre con los colores secundarios de luces:

- Si un objeto se percibe como **cian** es porque dicho objeto esta absorbiendo las longitudes de onda correspondientes al rojo, es decir, los conos  $M$  (Green) y  $S$  (Blue) se están estimulando.
- Si un objeto se percibe como **magenta** es porque dicho objeto esta absorbiendo las longitudes de onda correspondientes al verde, es decir, los conos  $L$  (Red) y  $S$  (Blue) se están estimulando.
- Si un objeto se percibe como **amarillo** es porque dicho objeto esta absorbiendo las longitudes de onda correspondientes al azul, es decir, los conos  $L$  (Red) y  $M$  (Green) se están estimulando.

Para entender mas sobre como el cerebro interpreta cada color y como el ojo humano percibe cada longitud de onda del espectro visible por medio de los conos, se profundizará a continuación en el experimento de observador estándar, el cual dio paso a que la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) pudiera establecer funciones para medir los colores de un objeto.

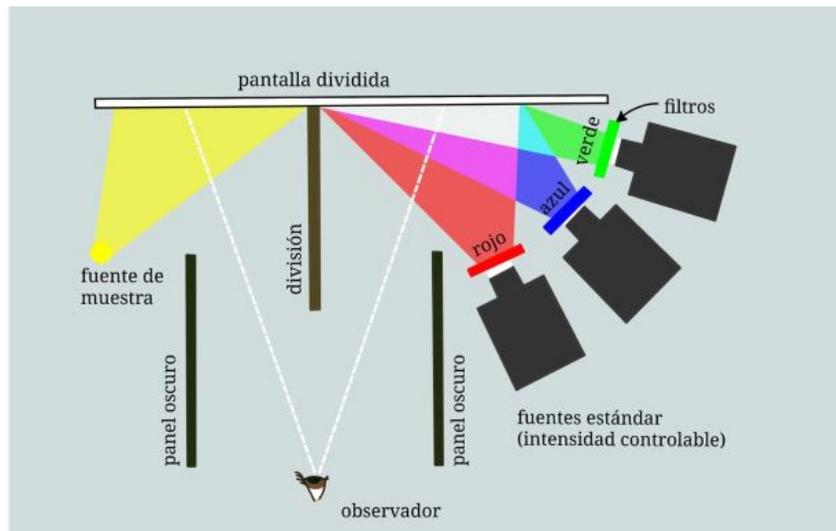


Figura 25: Diagrama ejemplo de un colorímetro.

En la *figura 25* se muestra el diagrama de un tipo de colorímetro, el experimento de observador estándar se hizo de manera algo diferente, pero la imagen sirve como referencia para poder entender mejor la metodología del experimento.

Como se vio antes, los colores de la luz se pueden obtener mezclando los colores primarios, por lo que en 1927 los físicos John Guild y David Wright, realizaron un experimento para determinar como la persona promedio percibe un color, el experimento constaba de una muestra de color que ocupaba un ángulo de visión de 2 grados, pues se creía que la retina solo era sensible al color en la fovea, los individuos de pruebas realizaron una igualación de color a cada banda del espectro visible, combinando diferentes intensidades de luces roja, verde y azul; similar al colorímetro que se muestra en la *figura 25* [Konica, 2020].

En 1964, el experimento de observador estándar se repitió, pero ahora el tamaño de la muestra cambio de 2° a 10°, pues alrededor de 1960, se descubrió que el ángulo de visión a color del ojo humano era de aproximadamente 10°.

En el Apéndice **A** se muestra la *tabla 6* de los datos que se obtuvieron en el experimento de observador estándar de 1964; dicha tabla se obtuvo de la pagina de la CIE [CIE, 2019].

En la *tabla 6* se muestran los resultados para el experimento de observador estándar, para longitudes de onda que el ser humano promedio percibe, las cuales van de los  $400nm$  hasta los  $700nm$  y con intervalos de  $10nm$  en  $10nm$  y los resultados para los valores triestímulos  $\bar{x}$  (correspondiente al rojo),  $\bar{y}$  (correspondiente al verde) y  $\bar{z}$  (correspondiente al azul), los cuales son la cantidad de cada color primario necesario en una mezcla aditiva para encontrar una coincidencia del color.

Al graficar la longitud de onda contra los valores triestímulos  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  y  $\bar{z}$ , se obtienen las siguientes gráficas.

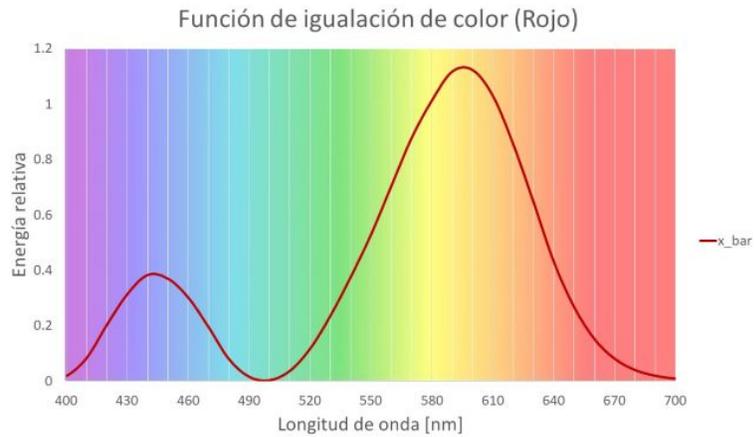


Figura 26: Gráfica de  $\bar{x}$  para cada longitud de onda, la cual representa a la cantidad de rojo presente en cada banda del espectro visible.

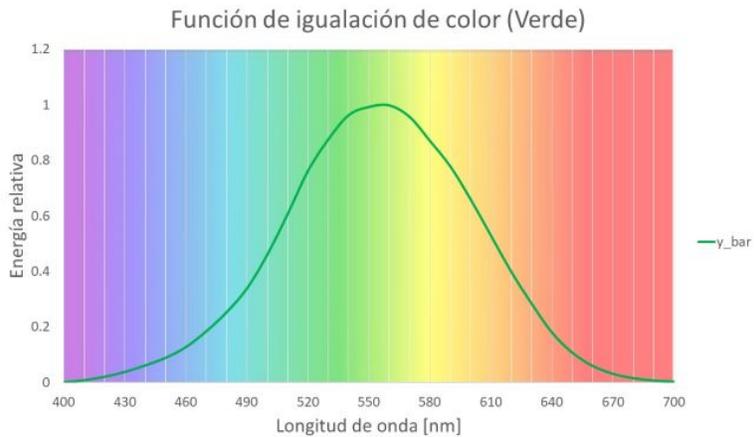


Figura 27: Gráfica de  $\bar{y}$  para cada longitud de onda, la cual representa a la cantidad de verde presente en cada banda del espectro visible.

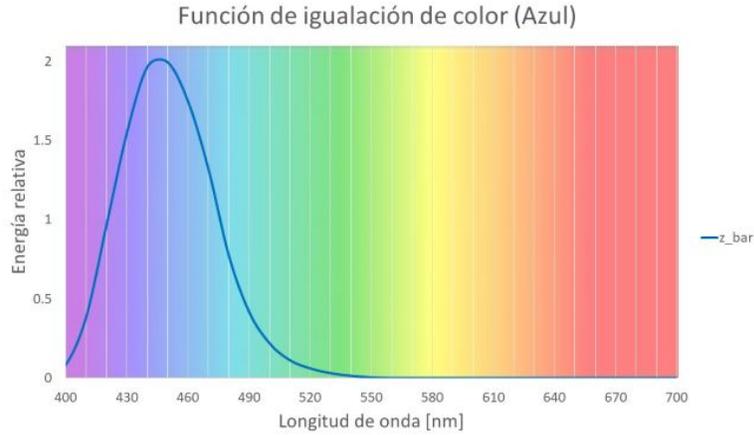


Figura 28: Gráfica de  $\bar{z}$  para cada longitud de onda, la cual representa a la cantidad de azul presente en cada banda del espectro visible.

Al juntar las *gráficas 26, 27 y 28* en una sola, se obtiene la siguiente gráfica.

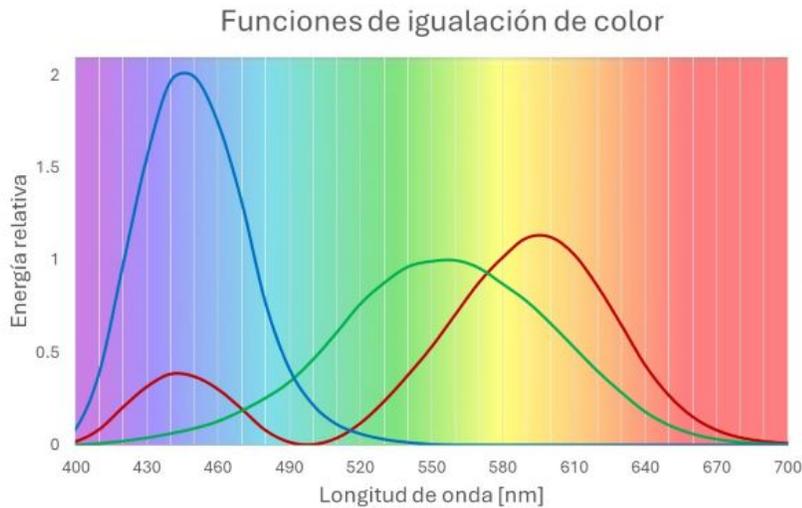


Figura 29: Gráfica de  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  y  $\bar{z}$  para cada longitud de onda.

En la *gráfica 29*, se puede observar de manera mas ejemplificada, la cantidad de color rojo, verde y azul presente en cada banda del espectro visible.

Se debe tener en cuenta que el experimento se realizo con un grupo de individuos de prueba que igualaron a “ojo” cada longitud de onda, por lo que la *gráfica 29* se puede ver también como la cantidad de luz detectada por cada tipo de cono en el ojo humano, cuando es estimulado con cierta longitud de onda y así poder percibir todos los colores del espectro visible.

Las *gráficas 26, 27, 28, 29* y su correspondiente tabla de datos, es una manera de presentar de forma más concluyente cómo el humano puede percibir cada color y por consiguiente el mundo a su alrededor a través de las células fotorreceptoras (conos y bastones) presentes en el ojo.

## 5. Redacción para público infantil

En esta sección se muestran las consideraciones a tener en cuenta al momento de escribir para un público infantil.

### 5.1. Adaptación de lenguaje

Una parte importante al momento de hacer divulgación es la adaptación del lenguaje, para la cual se debe tener en claro cuál es el público objetivo, pues dependiendo de la edad del público al que va dirigido, así como su grado de educación, nicho o contexto social, se puede modificar de una u otra forma el lenguaje que se va a utilizar para poder divulgar la ciencia.

En este caso el público objetivo son niños de 3ro a 6to de primaria, con una edad promedio entre los 8 y 12 años, por lo que es importante una alfabetización científica basada en ejemplos de la vida cotidiana de los niños, un acercamiento desde lo que viven día a día en su familia, en su comunidad y las problemáticas que esta enfrenta. De manera que se puede mostrar la ciencia como algo cercano y que va más allá de lo que les enseñan en la clase de ciencias naturales de la escuela [Villareal-Romero, 2019].

A continuación se muestra una lista de consideraciones, obtenida durante la realización del presente trabajo con base a lo leído en los artículos *La ciencia en la escuela, una propuesta de educación alternativa* [Hidalgo, 2020] y *Pequeños con grandes imaginarios: Cómo acercarlos al mundo de la ciencia* [Villareal-Romero, 2019], para la redacción del material de divulgación (artículos, discurso y guión).

#### Guiones

- Evitar tecnicismos y palabras complicadas
- Usar lenguaje accesible y amigable
- Dar ejemplos de la vida cotidiana
- Explicar la ciencia sólo con palabras, es decir, evitar a toda costa ecuaciones, números o términos matemáticos
- Ser fiel a los conceptos científicos (no decir cosas de las que no estamos seguros)

#### Discurso (divulgación cara a cara)

Además de las consideraciones antes mencionadas para la escritura de guiones, para el discurso se deben tomar también las siguientes consideraciones:

- Apoyo visual para explicar los conceptos más difíciles y para los personajes históricos (colorido y simple y llamativo)
- Llevarlos de la mano y no obviar conceptos
- Mostrar a los personajes históricos como personas que fueron (evitar llamarlos genios) para que los niños se sientan más cercanos a ellos e identificados y así generar motivación
- Reinterpretar los conceptos (contextualización)

- Debe ser interesante
- El título debe de ser claro, conciso y llamativo (se pueden usar preguntas)
- Tiempo del discurso no mayor a 20 minutos

## Artículos de divulgación

Para la escritura de artículos divulgativos se deben de tener en cuenta las consideraciones mencionadas para escrituras de guiones y de discurso. Asimismo las consideraciones que se muestran a continuación:

- Jugar con el lenguaje (analogías y metáforas)
- Párrafo enganchador (párrafo introductorio), puede incluir preguntas disparadoras
- Extensión de 2 cuartillas máximo 3, sin considerar los dibujos.
- Letra llamativa y fácil de leer.

## 5.2. Apoyo de elementos visuales

Debido a que el público objetivo son niños, el apoyo de elementos visuales, principalmente en un texto escrito, es relevante. Se conoce que el primer libro ilustrado infantil, del que se tiene registro, fue *Orbis sensualium pictus*, el cual tenía la finalidad de enseñar latín a los niños. El libro fue escrito e ilustrado por Johann Amos Comenius, quien es considerado como el padre de la pedagogía. Dicho libro marcó un antes y un después en los libros dirigidos para niños, pues se descubrió que un texto ilustrado propicia el gusto por la lectura desde edades tempranas y facilita la comprensión de los temas tratados. Debido a que, para un niño, significa una ampliación en su capacidad de entendimiento el aprender a interpretar imágenes [Castelan, 2021].

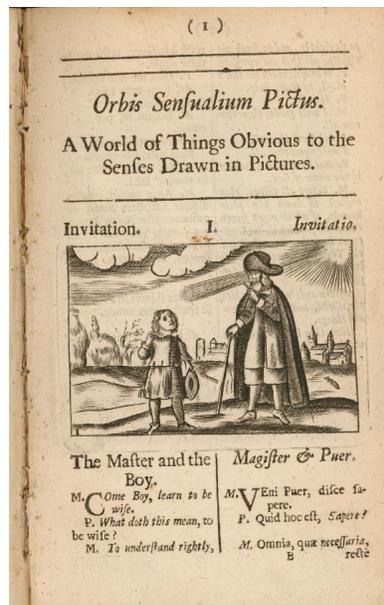


Figura 30: Portada del libro *Orbis sensualium pictus* escrito por Johann Amos Comenius [Library, nd].

Además, en la divulgación (tanto escrita como hablada) es de suma importancia el apoyo visual, pues se ha descubierto con el paso del tiempo que el uso de imágenes puede lograr lo siguiente [Villareal-Romero, 2019]:

- Ayuda a la comprensión del contenido abstracto y de difícil interpretación
- Motiva al momento de aprender
- Motiva a querer conocer más del tema
- Ayuda a la presentación de nuevos conceptos
- Refuerza la memoria de los contenidos aprendidos y enseñados
- Estimula la imaginación
- Ayuda a la expresión de emociones
- Ayuda al desarrollo de la creatividad
- Activa la memoria de conocimientos previos
- Aumenta la curiosidad para abordar temas científicos
- Ayuda a la conciencia y reflexión de los temas tratados
- Ayuda a mantener la atención de los niños

## 6. Divulgación para público infantil

En esta sección se profundizará en los temas relacionados con la divulgación y la enseñanza. Anteriormente, en la justificación del presente trabajo, se habló de manera superficial de la importancia de la divulgación científica en general. Ahora se abordará de manera específica la importancia de la divulgación dirigida a un público infantil.

Asimismo, se dará un vistazo a temas relacionados con la educación de la ciencia en México a nivel primaria para poder visibilizar los retos a los que se enfrenta la divulgación al momento de elegir como público objetivo a las infancias.

### 6.1. Enseñanza de la ciencia

La enseñanza de la ciencia es fundamental para el desarrollo de la comprensión del mundo, especialmente si se da desde los primeros años de educación básica, pues la educación es importante al momento de desarrollar la personalidad de un individuo. Desafortunadamente, durante mucho tiempo en la materia de ciencias naturales se ha tenido un enfoque conceptual sin espacio para la exploración por parte de los alumnos, lo cual deja de lado la curiosidad natural que caracteriza a los niños [[Utreras, 2020; Amador, 2020; Cuevas, 2016]].

Para superar dichos obstáculos en la educación en general, no solo en la enseñanza de ciencias naturales, Paulo Freire, en su libro *Por una pedagogía de la pregunta* [Freire, 2016], habla sobre el impacto negativo que tiene el autoritarismo en la educación, el cual reprime la capacidad de la pregunta y niega la curiosidad innata de los niños. Además, Antonio Faundez, coautor del mismo libro, hace énfasis en la importancia de alimentar la curiosidad de los estudiantes haciendo preguntas esenciales las cuales sirvan como hilos conductores del conocimiento.

Es aquí donde las ideas de Freire y Faundez se fusionan con las de Utreras y Berrios, con el modelo indagatorio en la enseñanza de la ciencia. La metodología indagatoria, de la cual se profundizará más adelante, invita a los estudiantes a explorar, experimentar y descubrir por sí mismos los principios científicos. Se basa en la observación directa, la manipulación de los materiales y estimula la creatividad y la motivación a la participación activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, formando así un pensamiento crítico [[Freire, 2016; Utreras, 2020]].

#### 6.1.1. Enseñanza de la ciencia en México

En México, se percibe a la ciencia y la tecnología como ajenas a la cultura, lo cual resulta en un subdesarrollo. La enseñanza de las ciencias en la educación básica se ha visto afectada, ya que se considera no esencial o útil para la vida cotidiana y se deja en un plano secundario [Flores-Camacho, 2012].

El alejamiento entre la sociedad y la ciencia se debe a diversas causas, pero las principales son las concepciones erróneas sobre esta, como que es solo para personas con habilidades especiales o que es potencialmente destructiva. Dicho alejamiento se da principalmente en la educación básica debido al enfoque tradicional de enseñanza de la ciencia, el cual da una imagen distorsionada y marginal de la misma [Flores-Camacho, 2012; Cuevas, 2016].

La educación básica en México ha tenido diferentes enfoques en la enseñanza de las ciencias a lo largo de la historia, desde el siglo XIX, cuando temas de física y química fueron integrados a la educación elemental, hasta reformas educativas más recientes en las que se ha intentado dar un enfoque más didáctico y se proponen actividades experimentales más frecuentes [SEP, 2022].

Uno de los problemas fundamentales radica en el enfoque tradicional de enseñanza, las clases de ciencias se han centrado demasiado en la memorización y la repetición de información, en lugar de fomentar la exploración activa y el pensamiento crítico entre los estudiantes. Esta situación ha llevado a una falta de interés y entusiasmo por parte de los estudiantes hacia las materias científicas [Flores-Camacho, 2012].

Existen propuestas innovadoras que buscan transformar esta realidad. La didáctica desarrolladora y la enseñanza por construcción promueven un enfoque centrado en el estudiante y en la formulación de preguntas. Estas metodologías reconocen la importancia de involucrar a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje, estimulando su curiosidad natural y su capacidad para explorar y descubrir [Amador, 2020; Hidalgo, 2020].

En el artículo *Enseñanza-aprendizaje de ciencia e investigación en educación básica en México* [Cuevas, 2016], se describe a la enseñanza no formal de la ciencia como aquella que se realiza fuera del plan oficial, a través de actividades voluntarias y autodirigidas, motivadas por los intereses propios de los niños, curiosidad y exploración. Además, se menciona que este tipo de educación proporciona experiencias y motivaciones que pueden ser la base para el aprendizaje posterior, ayudando a los estudiantes a desarrollar un sentido de diversión y asombro adicional, así como una mejor comprensión de conceptos y procesos científicos.

Siguiendo el modelo de la pedagogía de la pregunta y el modelo indagatorio, se puede observar que el principio que ambos comparten es promover un ambiente educativo donde la curiosidad sea valorada, donde todas las preguntas son bienvenidas y el aprendizaje se convierte en una experiencia activa y significativa para los involucrados. Asimismo, las actividades extracurriculares relacionadas con la ciencia juegan un papel relevante en este contexto; estas actividades ocurren de manera previa o paralela al aprendizaje escolar, lo cual, además de enriquecerlo, también promueve una visión adecuada del quehacer científico.

Es aquí donde la divulgación de la ciencia toma relevancia, pues muchas veces, por diversas razones, los modelos pedagógicos que se proponen no se pueden implementar en el aula, pero sí en la divulgación científica.

## 6.2. Importancia de la divulgación

En el artículo *Enseñanza de las ciencias por medio del modelo indagatorio, las Ferias de Ciencias Naturales* [Utreras, 2020], se propone al modelo indagatorio como metodología a seguir en el aula de clase para que los estudiantes desarrollen esa curiosidad natural que tienen de su entorno para que aprendan mejor los conceptos. Dicho modelo consta de cuatro etapas:

- Focalización: Propiciar el interés y motivación en el estudiante, realizando preguntas de indagación para atraer su atención y motivarlos a que realicen predicciones.
- Exploración: Los estudiantes desarrollan su investigación, buscando estrategias que los lleve a obtener resultados y buscan las respuestas a las preguntas realizadas en la etapa de

focalización.

- Reflexión: Se confrontan los resultados obtenidos con las predicciones hechas y así formulan sus propias conclusiones.
- Aplicación: Donde se extrapola lo aprendido a eventos cotidianos.

Las cuatro etapas deben ser supervisadas por el profesor, y aunque este modelo está pensado para un aula de clase, donde el conocimiento se profundiza, se puede utilizar en la educación no formal de la ciencia. Pues cuando se realiza divulgación de la ciencia, el mediador debe tener conocimiento previo del tema que está divulgando para así poder guiar al público a través de las etapas que se mencionan. Comenzando con las preguntas disparadoras para fomentar el interés y la motivación, siguiendo con la exploración cuando el público realiza la actividad que se le presenta o escucha la charla que se expone, para que el público genere sus propias conclusiones. El facilitador debe conocerlas realizando preguntas para poder guiar lo aprendido e introducir conceptos que considere adecuados, y finalmente mencionando dónde se pueden encontrar ejemplos de aplicación en la vida cotidiana de los conceptos vistos.

Una de las preguntas más repetidas en el ámbito académico es “¿Cómo lograr que los estudiantes tengan voluntad de aprender?” y además de la solución que se plantean en el artículo *La ciencia en la escuela, una propuesta de educación alternativa* [Hidalgo, 2020], la cual se retomara un poco más adelante, se describe también una idea que cabe remarcar y es el hecho de que existe cierta preferencia en la “exploración” y genera entusiasmo en los estudiantes pues representa salir del aula y romper con la rutina.

Aunque estas estrategias están diseñadas para el aula, también son aplicables en ferias, talleres o charlas de divulgación. En estos eventos, los estudiantes rompen con la rutina escolar. Aunque algunos asisten por “obligación”, muchos otros lo hacen por interés propio o desarrollan curiosidad durante la actividad. Este interés se puede fomentar si el facilitador crea un diálogo, haciendo preguntas pero también siguiendo la conversación, para evitar que el público se sienta en un interrogatorio constante. Esto anima a la participación, algo más difícil en el aula, donde los estudiantes muchas veces suelen sentirse en un ambiente autoritario y temen responder incorrectamente.

Hasta ahora se han mencionado estrategias para la divulgación cara a cara de manera presencial, pero también se pueden aplicar estrategias para la divulgación escrita.

La solución planteada en el artículo *La ciencia en la escuela, una propuesta de educación alternativa* [Hidalgo, 2020] sugiere que, para generar interés y activar la mente, es esencial narrar una historia. Según Jerome Bruner, la narración lleva a conversar, entusiasmar y generar preguntas. El docente puede guiar a los estudiantes a través de eventos históricos y los orígenes de los conceptos, presentándolos de manera accesible para facilitar su comprensión.

En el artículo *Pequeños con grandes imaginarios: Cómo acercarlos al mundo de la ciencia* [Villareal-Romero, 2019], se destaca la importancia de acercar a los niños a la ciencia mediante historias. Las historias de vida de personajes que han hecho grandes contribuciones a la ciencia pueden servir como referentes motivacionales, mostrando la conexión entre el pasado y el presente y los cambios generados por esas contribuciones.

## 7. Proyecto de divulgación

Debido a que la divulgación rompe con la forma tradicional de enseñar, en el aula, genera motivación e interacción en los niños, así como promueve la creatividad en ellos. Es por ello que se decidió crear el material que se mostrara adelante.

Este proyecto tiene como público objetivo a los niños de 3<sup>o</sup> a 6<sup>o</sup> de primaria, fue concebido con la finalidad de crear material cuyo lenguaje sea accesible para los niños de dichos niveles educativos, incluyendo la creación de ilustraciones llamativas y esquemas simplificados e ilustrativos de los conceptos tratados. Además, se buscó un experimento sencillo y casero que ejemplificara dichos conceptos.

### Elección de temas

La elección de los temas a tratar se basó en la búsqueda de fenómenos físicos que resulten llamativos para la vista, ya que de esta manera se puede capturar de mejor manera la atención de los niños. Por ello, los temas desarrollados en este proyecto se centraron en la óptica, especialmente en los colores y la visión.

Específicamente, se escogieron los siguientes temas:

- Luz y color
- Percepción de color
- Formación del arcoíris
- Anatomía del ojo humano
- Visión

### 7.1. Metodología de la presentación

Basado en lo revisado en las secciones anteriores, se definió el siguiente enfoque para la presentación del material. La selección de estos temas se realizó cuidadosamente para asegurar una mayor efectividad y alcance del mensaje, garantizando que el material sea ameno y accesible.

Se decidió crear tres tipos diferentes de materiales:

1. Cuatro artículos de divulgación ilustrados: Pensados para aquellos niños que disfrutan de la lectura o para que padres, tutores y/o educadores puedan leerlos mientras muestran las ilustraciones.
2. Un video: Con una breve explicación de los temas y la demostración de un experimento casero, ideal para niños que prefieren aprender a través de medios audiovisuales, aprovechando su familiaridad con la tecnología.
3. Un taller divulgativo: Incluye una charla y la realización del experimento mostrado en el video, diseñado para reunir a niños con diferentes preferencias de aprendizaje y concentrar todo el material en una sola actividad, invitándolos a explorar el resto del contenido.

Estos materiales fueron escogidos por su versatilidad, pensando en los distintos intereses y formas de aprendizaje de los niños. Por eso, se consideró importante complementar los artículos escritos con material audiovisual y actividades presenciales, culminando en la charla y taller.

## 7.2. Ejecución del proyecto

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo mediante las siguientes etapas:

- Investigación
- Desarrollo de contenidos
- Difusión

### 7.2.1. Investigación

Para la creación del material se llevó a cabo una investigación previa, principalmente de los conceptos físicos, los cuales se abordan en las *Secciones 2-4*, con el fin de ser fieles a los conceptos científicos al momento de escribir el material. Además, se realizó la investigación de cómo escribir para un público infantil y la importancia del apoyo visual, lo cual se aborda en la *Sección 5*. Finalmente, la *Sección 6* es un acercamiento a la enseñanza de la ciencia y la divulgación científica.

Asimismo, se cotejó el material existente de divulgación (revistas, artículos, libros infantiles, exposiciones de museos, videos, etc.) con la finalidad de obtener parámetros, guías y aprender de los posibles aciertos y errores del material consultado. No obstante, dicho material no es referenciado en el presente trabajo debido a la naturaleza del mismo.

### 7.2.2. Desarrollo de contenidos

Los artículos de divulgación que se realizaron se tomaron como guía para la creación del resto del material. A continuación, se muestra una breve descripción de cada uno. Posteriormente, en la siguiente sección, se presentarán los artículos completos.

#### La luz y los colores

En este artículo se abordó de manera sencilla el concepto de la luz y los colores, como parte introductoria al resto de artículos, pues al tratarse de textos de divulgación sobre óptica, se debe desarrollar el concepto de espectro visible de manera que los niños se sientan acompañados de ejemplos cotidianos.

Además, se dio un contexto histórico sobre “¿*Quien fue Isaac Newton?*” y el *experimento crucialis* que realizó, dando una descripción amigable y cercana de Newton como se plantea en los artículos antes mencionados: *La ciencia en la escuela, una propuesta de educación alternativa* [Hidalgo, 2020] y *Pequeños con grandes imaginarios: Cómo acercarlos al mundo de la ciencia* [Villareal-Romero, 2019].

Las ilustraciones que se realizaron como apoyo visual, se enlistan a continuación:

- **Isaac Newton.** Caricatura de Newton donde se le muestra pensando y tiene la característica manzana en la cabeza.
- **Experimento Crucialis.** Se muestra la luz entrando por una rendija e incidiendo sobre un prisma de cristal, para después dividirse en los colores que la conforma. De manera que se crea una imagen visual de lo que es un prisma y los colores que conforman la luz.
- **Percepción de color.** Se muestra un diagrama simplificado y caricaturizado de la luz incidiendo sobre un objeto y siendo reflejada por este hacia el ojo humano, después la señal que llega del ojo al cerebro y la interpretación que este le da al color.

- **Mezcla de luces.** Se muestra un diagrama de la mezcla aditiva para que el niño pueda diferenciar entre los colores primarios y secundarios de la luz.
- **Mezcla de pigmentos.** Se muestra un diagrama de la mezcla sustractiva para que el niño pueda diferenciar entre los colores primarios y secundarios de los pigmentos.

El artículo de divulgación se puede leer en la siguiente liga o en la *Sección 8*.

**Entrada del blog:**

La luz y los colores: <https://oumysc.wordpress.com/2023/06/16/la-luz-y-los-colores/>

**El tesoro del arcoíris**

En este artículo se abordó el concepto de dispersión de luz y espectro visible con un ejemplo que la mayoría de los niños conocen, y se trata del arcoíris. Se responde a la pregunta “¿Cómo se forma un arcoíris”.

Se explica cómo se dispersa la luz en la gota de agua y por qué se forma el arcoíris, además de que se muestra que la forma del arcoíris es circular y cuales son las condiciones en las que es mas probable que se pueda observar un arcoíris.

Las ilustraciones que se realizaron como apoyo visual, se enlistan a continuación:

- **Arcoíris.** Ilustración de un arcoíris como se representa normalmente.
- **Dispersión de la luz.** Se muestra un rayo de luz incidiendo sobre una gota de agua y siendo refractada y reflejada en su interior, para finalmente salir al exterior separada en los colores que la conforman.
- **Forma del arcoíris.** Se muestra un diagrama simplificado de la luz interactuando con la gota de agua y formando un cono de luz, para finalmente mostrar el arcoíris completo.
- **Conos de luz formado por gotas diferentes.** Se muestran diferentes gotas en el cielo formando un cono de luz y contribuyendo a la formación del arcoíris.
- **Arcoíris y persona.** Se muestra las condiciones climatológicas para la formación de un arcoíris y a una persona observándolo.

El artículo de divulgación se puede leer en la siguiente liga o en la *Sección 8*.

**Entrada del blog:**

El tesoro del arco iris: <https://oumysc.wordpress.com/2023/10/09/el-tesoro-del-arco-iris/>

**El mundo a través de nuestros ojos**

En este artículo se aborda el tema de la anatomía del ojo humano y se responde principalmente a las preguntas “¿Cómo funciona el ojo humano?” y “¿Cómo funciona la visión?”. De manera que se da una breve y simplificada explicación de las partes que conforman al ojo humano y su funcionamiento, así como su conexión con el concepto de luz.

Además, se aborda el tema de la formación de imagen en el ojo y los defectos visuales mas comunes en la población: miopía, hipermetropía y astigmatismo.

Las ilustraciones que se realizaron como apoyo visual, se enlistan a continuación:

- **El mundo a través de nuestros ojos.** Se muestra un ojo humano caricaturizado donde el iris es el planeta tierra para ejemplificar gráficamente el título del artículo.
- **Ojo humano.** Se muestra el diagrama simplificado de un ojo humano y las partes principales que lo conforman.
- **Formación de imagen.** Se muestra un diagrama simplificado y aumentado de la formación de la imagen en la retina del ojo.
- **Miopía e hipermetropía.** Se muestra un diagrama simplificado de la diferencia en la formación de imagen en un ojo miope y un ojo hipermetrope según la distancia al objeto y comparado con ojo normal.
- **Astigmatismo.** Se muestra el diagrama simplificado de como ve un ojo con astigmatismo y se compara con la visión de un ojo normal.

El artículo de divulgación se puede leer en la siguiente liga o en la *Sección 8*.

### Entrada del blog:

**El mundo a través de nuestros ojos:** <https://oumysc.wordpress.com/2024/01/18/el-mundo-a-traves-de-nuestros-ojos/>

### Los colores que nos rodean

En este artículo se aborda el tema de visión a color, una vez conociendo las partes que conforman al ojo humano, se profundiza en el tema de fotorreceptores, se describe de manera breve y sencilla las células conos y bastones así como su funcionamiento.

También se aborda el tema de la visión fotópica y la escotópica. Además se responden a las preguntas “¿Qué es el daltonismo y cómo ve una persona daltónica?”, “¿Es cierto que los perros y gatos ven en la oscuridad?” y “¿Qué colores ve mi mascota?”.

Las ilustraciones que se realizaron como apoyo visual, se enlistan a continuación:

- **Conos y bastones.** Se muestra un diagrama del ojo humano, con un acercamiento a la retina para mostrar los conos y bastones junto con las fibras nerviosas, además al lado se muestra un dibujo de la célula bastón y la célula cono.
- **Imágenes detectadas por cada tipo de cono.** Se muestra la imagen que recibe cada tipo de célula cono y debajo se muestra la imagen que forma la unión de los tres conos, la que percibe el cerebro.
- **Visión: perro y gato** Se muestra el dibujo de un juguete para mascota con los colores que percibe el ser humano y debajo se muestra el mismo juguete pero con los colores que percibirá un gato y un perro.
- **Daltonismo** Se muestra un dibujo en la parte izquierda de una paleta, con los colores que percibe una persona sin daltonismo y del lado derecho se muestra el mismo dibujo de la paleta pero con los colores que percibe una persona con daltonismo.
- **Visión fotópica y escotópica** Se muestra un dibujo a color en el lado izquierdo representando a la visión fotópica y del lado derecho se muestra el mismo dibujo pero a blanco y negro, y con menor resolución, representando a la visión escotópica .

El artículo de divulgación se puede leer en la siguiente liga o en la *Sección 8*.

**Entrada del blog:**

**Los colores que nos rodean:** <https://oumysc.wordpress.com/2024/04/23/los-colores-que-nos-rodean/>

### **7.2.3. Proceso de difusión**

La difusión se realizó principalmente en redes sociales, pero debido a que el público objetivo se trata de niños, también se realizó un acercamiento directo con niños de 3<sup>o</sup> a 6<sup>o</sup> de primaria

El proceso de difusión del material escrito y del video consistió en lo siguiente:

El video se menciona al final de los artículos escritos, relacionándolo con los conceptos ya explicados.

Además, el video se agregó como entrada en el blog después de los artículos correspondientes.

En el video, se mencionan los artículos relacionados y se incluyeron los enlaces a los artículos y al blog en la descripción del video.

La difusión presencial se pudo realizar gracias a la escuela primaria Colegio Axusco, que abrió sus puertas y permitió la interacción directa con niños en el rango de escolaridad al cual está dirigido el proyecto. Dicha difusión consistió en una pequeña charla con demostraciones y un taller, al final de los cuales se les mencionó la existencia de los artículos y del video. Además, se les regaló una calcomanía con el código QR del blog donde se encuentra el material

## 8. Elaboración y presentación final del proyecto

### 8.1. Presentación del material escrito

A continuación se presentan los artículos divulgativos que se escribieron como parte del proyecto, en la nueva sección del blog *Ouroboros Ars et Scientia*: [Ouroboros para niños](#).

#### La luz y los colores

El mundo que nos rodea está lleno de colores y probablemente todos tenemos un color favorito o un color que nos gusta más que otros, pero ¿cuál es el secreto detrás del color de las cosas que estamos viendo? ¿Por qué lo percibimos así?, ¿De qué crees que dependa el color que estamos viendo? Acompáñame a través de esta historia para conocer un poco más sobre los colores y la luz.

La historia comienza en Inglaterra, alrededor del año 1650. Había una persona que, como tú, tenía una inmensa curiosidad y ganas de entender cómo funcionaba el mundo en el que vivimos. Cada día se hacía una nueva pregunta. Desde muy pequeño, se interesó en comprender las cosas que lo rodeaban y, con gran creatividad, realizaba pequeños experimentos con objetos que tenía a su alcance. ¿Te suena el nombre de Isaac Newton? Sí, es el mismo del que se cuenta que le cayó una manzana en la cabeza y que, después de ese suceso, explicó la Gravedad, la fuerza que nos mantiene en el suelo y nos impide flotar.



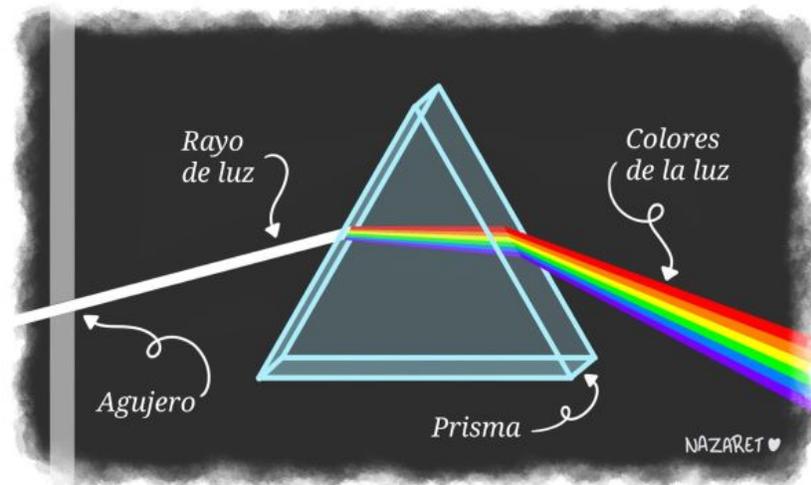
*Isaac Newton*

Newton tenía mucha curiosidad en saber cómo funcionaba el mundo, y a lo largo de su vida realizó muchos experimentos, logrando grandes avances en la descripción del funcionamiento del mundo. Pero entre los experimentos que realizó, hay uno que sobresale porque marcó un antes y después en el estudio de la física y este tenía que ver precisamente con el estudio del color.

*Pero, ¿en qué consistió el experimento?*

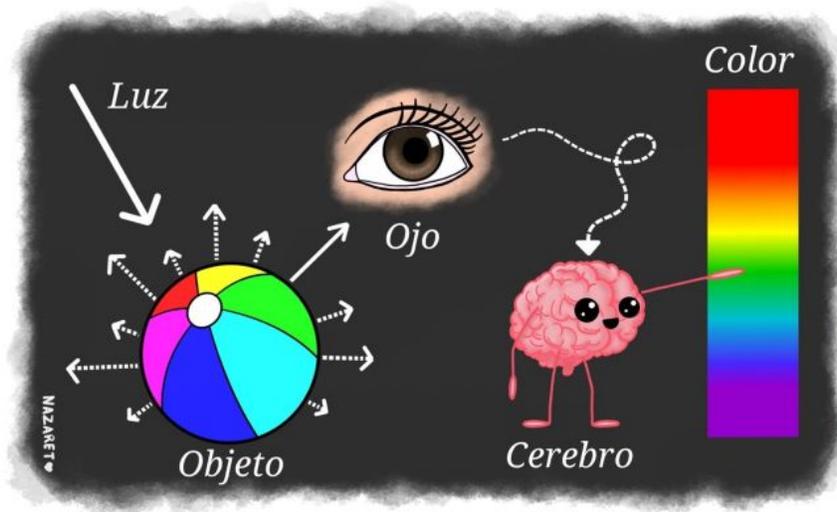
En un cuarto completamente a oscuras, Newton realizó un pequeño hoyo en una de las cortinas, dejando pasar así un rayo de luz solar, e hizo que chocara contra un prisma de vidrio, el cual es como una cajita triangular alargada, esto generó una serie de diferentes colores: Rojo, Naranja, Amarillo, Verde, Azul y Violeta. ¿Te suena a algo esta lista de colores? Así es, son los mismos que podemos observar en un arcoíris. Antes de que Newton realizara el experimento, se creía que el prisma coloreaba la luz y por eso se obtenían esos colores, pero Newton se dio cuenta de que el prisma solo separa la luz solar en los colores que la conforman.

Como todo buen científico Newton tenía que demostrar esta hipótesis o idea de lo que iba a suceder, por lo cual decidió hacer el experimento a la inversa, en esta ocasión al hacer pasar los colores que obtuvo del primer prisma a través de un segundo prisma lo que obtuvo ahora fue de nuevo el rayo de luz blanca.



Es así como ahora sabemos que la luz que nos llega del sol está conformada por una serie de colores y a esta luz la conocemos como luz blanca o luz “visible”. Actualmente tenemos más fuentes de luz que el sol o el fuego (velas), gracias a la electricidad. Pero ¿a qué le llamamos luz blanca? Para que a una fuente de luz la consideremos como luz blanca debe de contener todos los colores antes mencionados.

Los colores que vemos, son en realidad una respuesta de nuestro cerebro a las señales que recibe, de manera que, para que veamos colores, debe existir la presencia de luz, la cual se refleja en el objeto y una vez hecho esto nuestros ojos la perciben y el cerebro procesa la señal de manera que vemos el objeto de un color u otro como te muestro en la imagen.



Es por esto mismo que hay personas que perciben los colores de forma diferente ya que en algunas ocasiones las células dentro del ojo que se encargan de percibir estas diferencias, no funcionan como se debe y confunden la señal de un color con la de otro. Ahora bien, el humano puede percibir un aproximado de 2 millones de colores, pero algunos quedan ocultos a nuestra capacidad. Sin embargo, existe un animalito, el camarón mantis, el cual es capaz de percibir toooooodos los colores que se encuentran en la luz, ¿para qué querrá un camarón ver todos los colores? Tal vez nunca lo sepamos.

### *Hay colores y colores*

Es probable que alguna vez hayas escuchado hablar de los colores primarios. Pero, cuando hablamos de colores, los dividiremos en dos grupos: colores de luz y colores de pigmento. Ambos grupos tienen sus propios colores primarios y si los mezclas obtendrás diferentes colores.

Como ya mencionamos, la luz está conformada por una serie de colores, y los colores primarios será un grupo de 3 colores que al combinarlos nos darán como resultado luz blanca. Los colores que usualmente se conocen como colores primarios de la luz son el : Rojo, Verde y Azul. Esto porque en nuestros ojos tenemos células, llamadas conos, que son sensibles a esos tres colores, gracias a los cuales somos capaces de ver el resto de colores.



Al combinar 2 de estos 3 colores, obtendremos una serie de colores diferentes.

- Si combinamos rojo y verde, obtendremos amarillo.
- Si combinamos verde y azul, obtendremos cian.
- Si combinamos rojo y azul, obtendremos magenta.

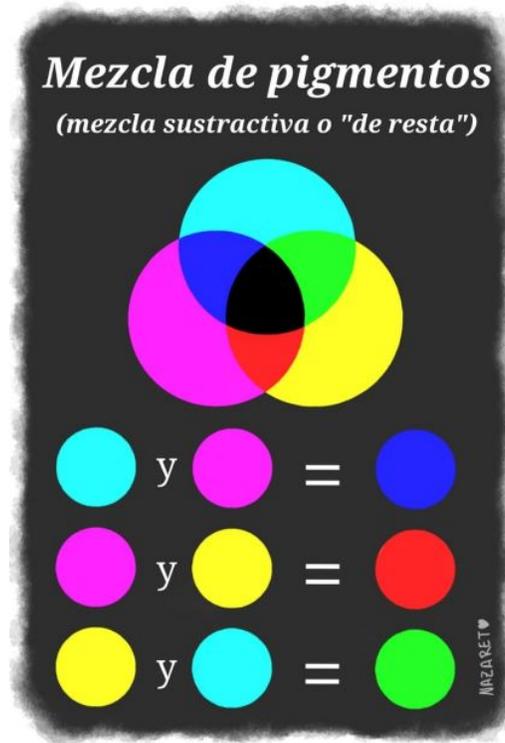
A estos colores se les conoce como colores secundarios de la luz. Si seguimos realizando combinaciones obtendremos en totalidad todos los colores que componen la luz.

A este tipo de mezcla de color se le conoce como aditiva o “de suma”, pues al sumar una luz de un color con otra de otro color, obtendremos un tercer color.

Cuando hablamos de pigmentos, los cuales son con los que podemos colorear las cosas, por ejemplo, pintar un dibujo o teñir tela para hacer ropa. Los colores primarios al igual que en la luz será un grupo de tres colores, pero que a diferencia de los primarios de la luz, al mezclarlos todos, debemos obtener un color oscuro. A este tipo de mezcla de color se le conoce como mezcla sustractiva o “de resta”, pues mientras mas colores agregues mas se irán restando y terminaras por tener un color muy oscuro o inclusive oscuridad total conocida como negro.

Se suele decir que los colores primarios en pigmentos son: Rojo, Amarillo y Azul, pero si te fijas en la siguiente imagen es un tipo específico de azul y en vez de rojo se usa un color mas parecido al rosa mexicano, debido a que si no se utilizan estos colores resulta muy fácil que al combinarlos obtengas tonos oscuros o cafés. Desde pequeños nos enseñan que la mezcla de amarillo y azul da verde ajustando la cantidad de cada color y muchos artistas famosos usaron las mezclas de estos colores para producir sus combinaciones de color.

Si tienes la posibilidad de observar los colores que usa una impresora a color, notarás que no usa rojo, amarillo y azul. En realidad los colores que se conocen como colores primarios de pigmentos son: un azul cielo al cual llamamos Cian, un rosa mexicano al cual llamamos Magenta y Amarillo. Los cuales son los colores secundarios de la luz.



Como ya te mencioné, esta mezcla se llama "de resta". Esto se debe a que los pigmentos funcionan como un filtro que absorbe todos los colores y solo deja pasar el color que estamos viendo. Por eso, al combinar 2 de estos 3 colores, obtenemos lo siguiente.

- Si combinamos cyan y magenta, obtendremos azul.
- Si combinamos magenta y amarillo, obtendremos rojo.
- Si combinamos cyan y amarillo, obtendremos verde.

Estos colores se llaman colores secundarios de pigmentos. Cuando mezclamos pigmentos, el color resultante absorbe más luz y refleja menos hacia nuestros ojos. Por eso, cuanto más pigmentos mezclamos, más oscuro se ve el color, llegando a ser negro. Esta mezcla se llama sustractiva o "de resta" porque al final da como resultado la oscuridad o el negro.

Cuando empezamos a hablar de la luz, mencionamos los colores que la conforman y que son los mismos que podemos observar en un arcoíris, si te gustaría saber cómo se forma un arcoíris y sus colores, te invito a leer el siguiente artículo donde hablaremos sobre el arcoíris.

#### Referencias:

- Hecht, E. & Zajac, A. (2003). Optics (4ta Edición Versión En español). Ed. Pearson. ISBN: 9780133977226

- Guillen, M. (1995) Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo: el poder y la oculta belleza de las matemáticas. Ed. epublibre.
- Agencia SINC. (n.d.). Nadie ve los colores como la gamba mantis. [online] Available at: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Nadie-ve-los-colores-como-la-gamba-mantis> [Accessed 13 Jun. 2023].

## El tesoro del arcoíris

“Al final del arcoíris ¿está nuestra olla de oro?” (refrán popular)

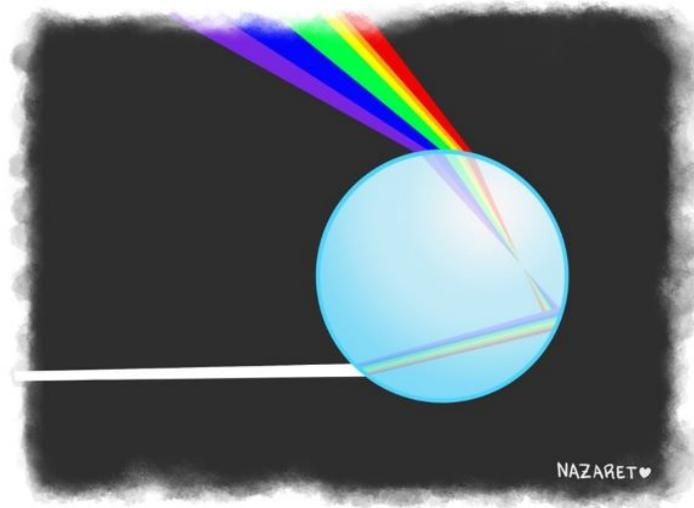


Cuando vemos un arcoíris en el cielo, ¿qué podemos notar que ocurre a nuestro alrededor? Primero, siempre hay sol y también hay lluvia. Así es, este fenómeno sucede cuando hay sol y está lloviendo al mismo tiempo, pero no siempre que ocurre esto es posible ver un arcoíris, ¿por qué? Bueno, para responder esta pregunta primero tenemos que entender cómo se forma.

*Como ya dijimos necesitamos de 2 ingredientes principales...*

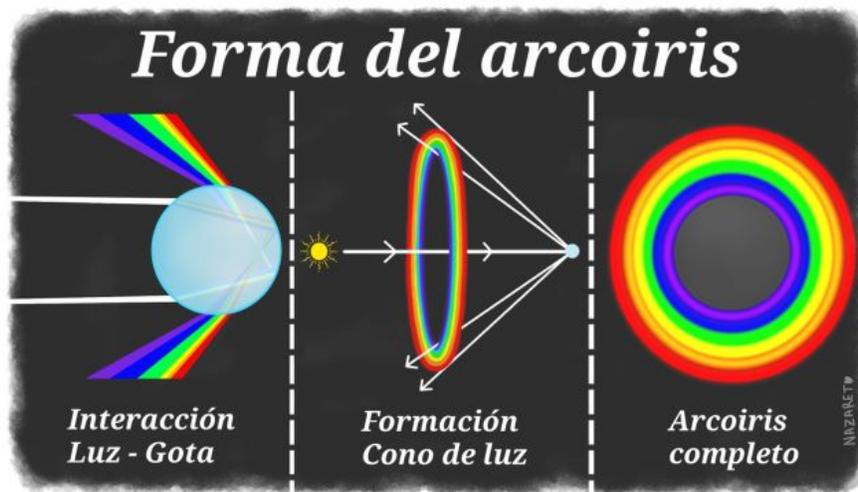
El sol y la lluvia, pero también se pueden observar arcoíris en la noche, gracias a la presencia de la luna, así como lo podemos observar en otras ocasiones, como cuando regamos las plantas con una manguera o cuando está encendido un aspersor de pasto. En todas estas situaciones tenemos algo en común: luz y gotas de agua.

En este caso, la gota de agua a la que le llega la luz está separando la luz en sus diferentes colores. Como podemos observar en la siguiente imagen, la luz llega a la gota y se divide en todos los colores que la conforman, después rebota dentro de la gota para finalmente salir de ella, lo cual nos permite ver dichos colores. Como observamos en la imagen, los colores al salir de la gota se acomodan con el rojo por arriba y el violeta por debajo. Y si recuerdas cómo luce un arcoíris, notarás que el color rojo se encuentra arriba y el violeta por debajo.



Ahora que ya sabemos que la gota separa la luz en sus diferentes colores, veremos que ocurre con la forma, como ya platicamos antes, las historias populares dicen que hay un tesoro al final del arcoíris, pero ¿dónde está el final?

Para saber eso, es importante entender que aunque en el dibujo ponemos a la luz como una línea, en realidad la luz llega a nosotros como rayos en diferentes direcciones, los cuales no podemos ver uno por uno. Con la gota de lluvia sucede lo mismo, por lo que, si imaginamos la gota de lluvia como una esfera, la luz puede llegarle por debajo y salir por arriba, o puede llegarle por arriba, por la izquierda o por la derecha, de manera que la luz llega por toda la cara de la gota que da al sol, entonces tendremos lo siguiente:

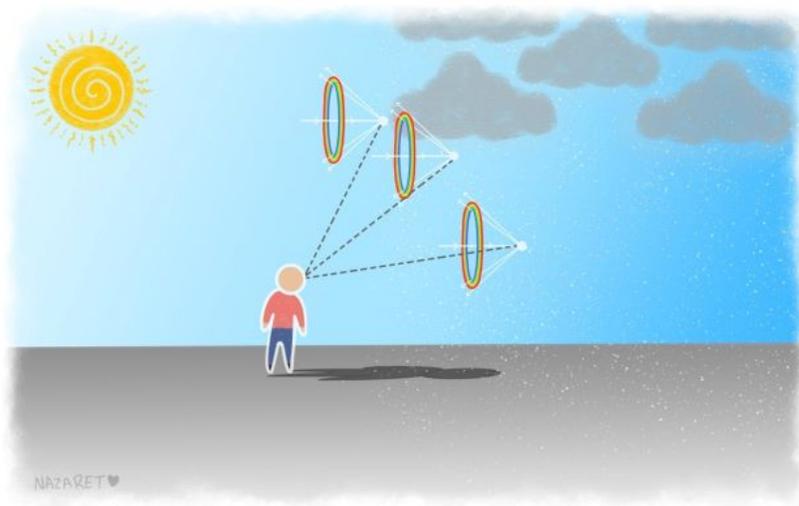


La gota de agua separará la luz en todas direcciones formando un cono, donde, si lo vemos desde el frente, veremos un círculo, el cual tendrá el color rojo por fuera y el violeta por dentro. Este círculo que vemos es en realidad el arcoíris. Como notarás, tristemente nunca encontraremos el tesoro al final de un arcoíris pues, al ser un círculo, no tiene un principio ni un fin.

*Pero si es un círculo, ¿por qué no podemos verlo completo?*

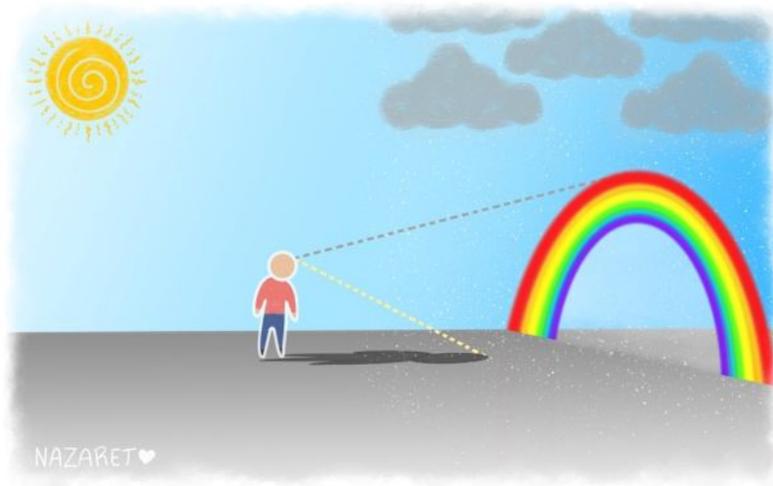
Esto es debido a que la sección que vemos del círculo es solo la mitad superior; la otra mitad no la podemos ver debido a que, si miramos hacia el horizonte, la otra mitad queda oculta por los edificios, montañas o el suelo. Sin embargo, es posible ver el arcoíris completo si te encuentras a gran altura, como en un avión. Pero si estás en tierra firme y miras hacia arriba o al frente, difícilmente podrás ver el arcoíris completo.

Además, como te mostré en el dibujo anterior, cada gota de lluvia actúa como un pequeño prisma y la separa en diferentes colores formando un cono de luz. Cuando miramos al cielo, todas esas gotas están trabajando juntas. Dependiendo de dónde esté cada gota, veremos un color diferente. Así, con millones de gotas de agua reflejando luz de diferentes colores, podemos ver el arcoíris en el horizonte.



Ahora ya sabemos cómo se forma un arcoíris y la forma que tiene. Sabemos que si llueve y hay sol, probablemente podamos ver un arcoíris. Pero, ¿no les ha ocurrido que aunque haya estas condiciones, por más que lo buscas, no lo encuentras?

Esto puede deberse a muchas cosas. Puede que en el lugar donde te encuentres esté lloviendo más fuerte de lo que necesitas para ver un arcoíris, pues recordemos que debe estar lloviendo, pero no estar nublado, para que haya luz solar. Por lo tanto, en donde nos encontremos debe estar cayendo una ligera llovizna. Además, depende de la dirección del sol, pues el sol debe estar al lado contrario de donde se encuentra la lluvia. Como vemos en el siguiente dibujo, tú debes estar parado entre el sol y la lluvia, y debes mirar en dirección contraria al sol.



### *Para ver un arcoíris. . .*

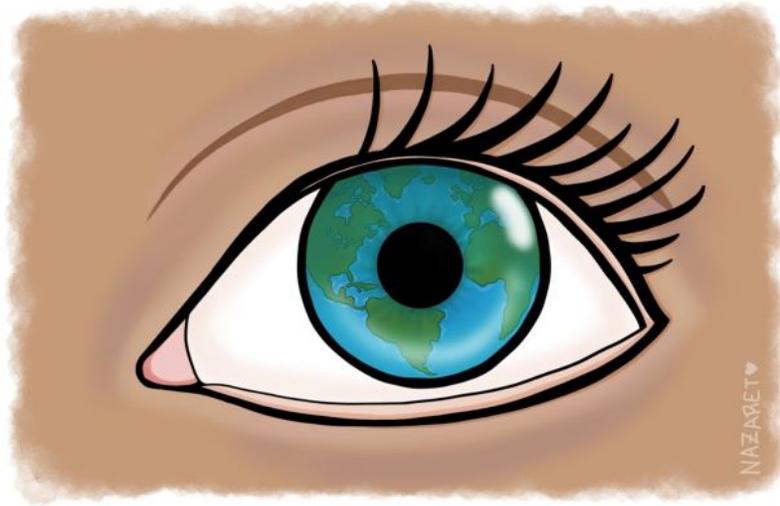
Dependerá de la dirección del sol, que debe estar en una posición donde puedas ver tu sombra. Para buscar el arcoíris, primero mira hacia la cabeza de tu sombra y luego sube la vista poco a poco. Este ángulo entre la cabeza de tu sombra y el arcoíris es importante, ya que solo a ese ángulo podrás verlo. No te preocupes por los números, simplemente sube tu mirada lentamente. Si no lo ves, puede ser porque el sol está muy alto en el cielo, y no generamos sombra o solo una muy pequeña. También, si el sol está cerca del horizonte, es poco probable ver un arcoíris, ya que nuestra sombra será más larga y tendremos que levantar mucho la vista para encontrarlo.

Ahora ya sabemos por qué a veces no es posible ver un arcoíris, pero si te interesa ver un arcoíris en todo momento, te invito a ver el video "arcoíris de bolsillo", donde con cosas que podemos encontrar en nuestra casa, haremos un arcoíris que, como su nombre lo dice, podremos llevar con nosotros a donde queramos.

### **Referencias:**

- Lewin, W. (2002). Lec 31: Rainbows - 8.02 electricity and magnetism [video]. YouTube. For the Allure of Physics.

## El mundo a través de nuestros ojos



Hemos estado platicando acerca de la luz, los colores y algo muy bonito como lo es la formación del arcoíris y ahora sabemos un poco más sobre estos temas, pero...

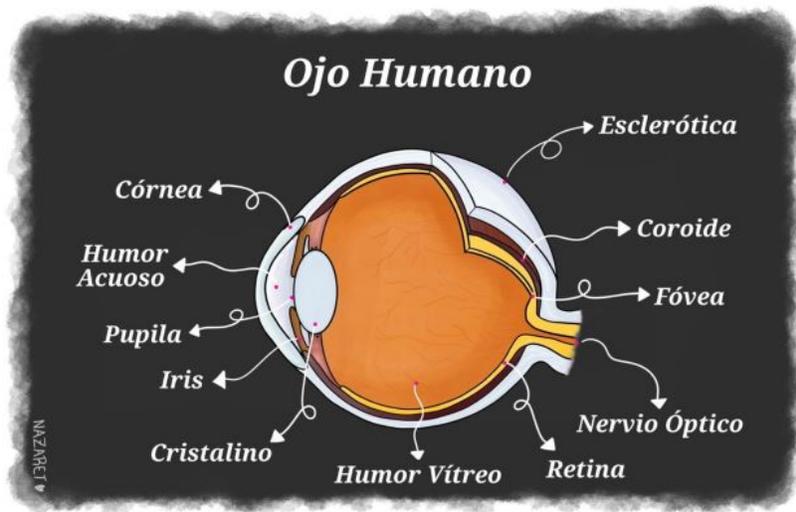
### *¿Cómo es que podemos observarlos en nuestro día a día?*

Bueno, para poder percibir el mundo que nos rodea, es necesario de un detector, como una cámara, por ejemplo, pero en nuestro caso, los seres humanos tenemos un detector muy poderoso, gracias al cual podemos apreciar lo que nos rodea diariamente, y se trata de nuestros ojos.

Gracias a nuestros ojos podemos ver imágenes y colores. Como mencionamos antes en el artículo "La luz y los colores", la luz llega al objeto, este absorbe cierta cantidad de luz y refleja el resto. Es gracias a esta luz reflejada que llega a nuestros ojos que podemos detectar el color de las cosas. Todas las señales que reciben nuestros ojos las envían a nuestro cerebro para que las procese, y así es como podemos ver lo que nos rodea. No solo necesitamos nuestros ojos para ver, sino también nuestro cerebro para entender lo que vemos. Cada persona percibe el mundo de una forma diferente, pero...

### *¿Cómo funciona?*

Para saber cómo funcionan nuestros ojos, primero debemos conocer las partes importantes que los conforman, es por eso que a continuación te muestro un dibujo de las partes del ojo humano.



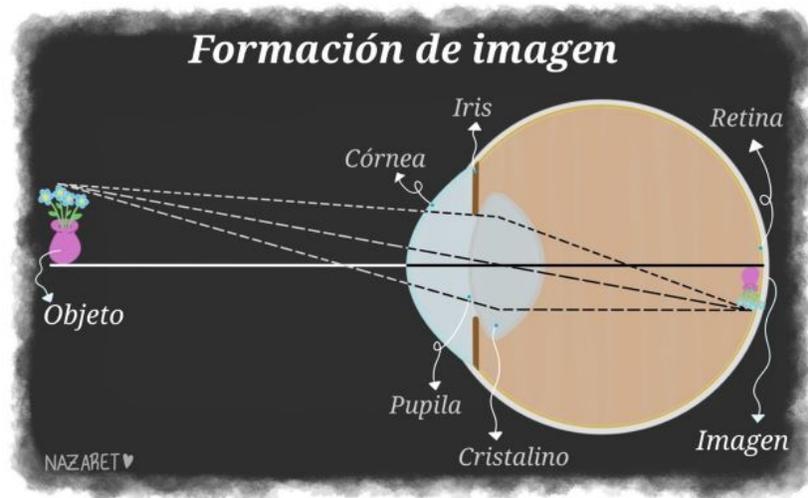
La luz que rebota en los objetos, por la que podemos observarlos, entra a nuestros ojos por la córnea. Entre la córnea y la pupila hay un líquido transparente, parecido al agua, llamado humor acuoso. La luz atraviesa este líquido para entrar por la pupila, que es un agujero que puede hacerse grande o pequeño según la cantidad de luz que haya afuera, regulando cuánta luz entra en el ojo. Alrededor de la pupila se encuentra el iris, que le da color a nuestros ojos.

Justo detrás de la pupila está el cristalino, una lente similar a una lupa, pero hecha de una sustancia gelatinosa transparente, como una canica de gelatina. Esta lente puede cambiar de forma para ayudarnos a enfocar objetos cercanos y lejanos. Cuando se vuelve más grande y esférica, nos permite ver mejor de cerca, y cuando se aplana, nos permite ver mejor de lejos. Cuando la luz pasa por el cristalino, recorre una sustancia gelatinosa dentro del ojo llamada humor vítreo. A veces, cuando miras al cielo, puedes ver pequeños "gusanitos" o manchas flotantes. Esto ocurre porque en el humor vítreo hay pequeñas partículas flotando, y sus sombras son las que vemos como puntos oscuros o claros.

Finalmente, la luz llega al fondo del ojo, donde se encuentra la retina. La retina es una capa delgada donde se forma la imagen del mundo exterior. Gracias a muchísimas fibras nerviosas, que son como pequeños cables, que conectan la retina con nuestro cerebro, podemos percibir las imágenes. Además, en la retina hay células llamadas conos que nos permiten ver los colores.

***Bueno, pero... ¿Cómo se forma la imagen en nuestro ojo?***

Te voy a mostrar un dibujo de cómo se forma la imagen del mundo exterior en el interior de nuestro ojo, a continuación.



Así es, como viste en el dibujo, las imágenes se forman al revés en nuestro ojo. Esto ocurre porque la luz que llega del objeto se desvía al entrar en nuestro ojo. ¿Has observado alguna vez un objeto sumergido en agua? Puedes notar que se ve diferente, más grande o chueco. En nuestro ojo pasa algo similar. Debido a la forma curva del ojo, la luz se dobla y la imagen que se forma en el interior es más pequeña y está invertida. La retina tiene células especiales llamadas conos y bastones que detectan la luz y los colores. Estas células envían señales a través del nervio óptico al cerebro.

***Entonces, ¿por qué no vemos el mundo de cabeza?***

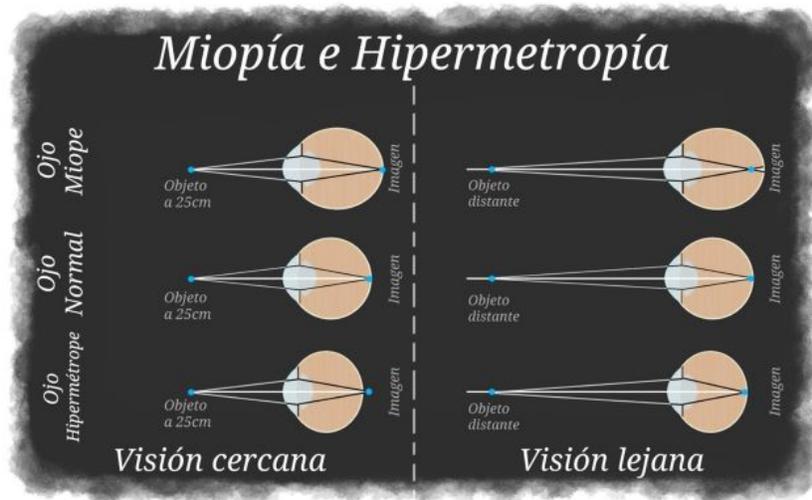
No te preocupes, aunque la imagen que se forma en nuestro ojo está al revés, nuestro cerebro es tan poderoso que puede voltear las imágenes al instante, para que nunca veas el mundo de cabeza. De lo contrario, estaríamos todos mareados. ¡Nuestro cerebro hace un gran trabajo!

***Y ¿por qué algunas personas usan lentes?***

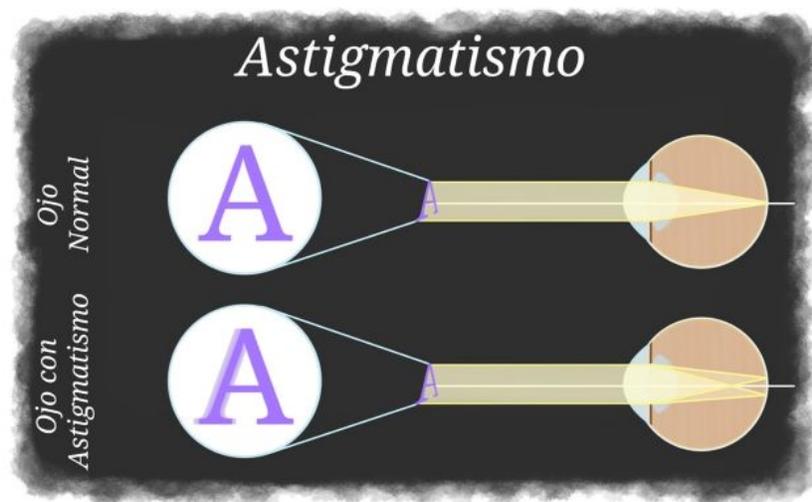
Seguramente conoces al menos a una persona que use lentes, quizá incluso tú como yo somos de esas personas que necesitan usar lentes, pero ¿para que los necesitamos?

Nuestro ojo tiene una forma casi esférica, pero en algunas personas el ojo tiene ligeras deformidades por lo que la luz se desvía de diferente manera y eso hace que veamos borroso si no usamos lentes.

Los principales defectos visuales que se presentan entre las personas son tres: Miopía, Hipermetropía y Astigmatismo.



- **Miopía:** Las personas con miopía, cuando observan un objeto lejano, este parecerá borroso si no usan lentes, debido a que la imagen en el interior del ojo se forma antes de la retina, pero no tienen problema al observar objetos cercanos.
- **Hipermetropía:** Las personas con hipermetropía verán un poco borroso al observar un objeto muy lejano, la diferencia está en que también ven borrosos objetos muy cercanos al ojo. Por lo que se suele decir que las personas con hipermetropía no ven bien de cerca y ven mejor a lo lejos. La imagen que se forma en el interior del ojo, se formará después de la retina.



- **Astigmatismo:** El astigmatismo normalmente va acompañado de otras condiciones como miopía o hipermetropía. Las personas con astigmatismo pueden tener visión borrosa tanto de lejos como de cerca. La diferencia con los otros dos problemas visuales es que algunas partes de lo que ven se verán más borrosas que otras. Esto sucede porque la córnea, que es la parte transparente del ojo por donde entra la luz, tiene una forma desigual. En lugar de ser redonda como una pelota, es más ovalada como un balón de fútbol americano, lo que hace que la luz se enfoque en diferentes puntos en lugar de uno solo, causando visión borrosa en ciertas áreas.

Cuando una persona utiliza lentes, los lentes hacen que la imagen se forme justo en la retina para que no vea borroso, es por eso que es importante que un optometrista les realice un examen de visión para que le recete los lentes que necesita según el defecto visual que tengan y de esta manera el ojo no haga esfuerzos innecesarios y se canse la vista o duelan los ojos.

Ahora ya conocemos cómo funciona el ojo humano, pero si te gustaría saber por qué somos capaces de ver colores, y cómo es que otros animales ven el mundo, te invito a leer el siguiente artículo donde tocaremos estos temas

### Referencias:

- Hecht, E. & Zajac, A. (2003). Optics (4ta Edición Versión En español). Ed. Pearson. ISBN: 9780133977226
- Puell, M. Óptica fisiológica. El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. ISBN: 1-4135-6363-5.

### Los colores que nos rodean

*“El color es el lugar donde nuestro cerebro y el universo se encuentran” - Paul Klee*

Ahora que ya vimos las partes que conforman al ojo y cómo funciona, podemos ver qué es lo que ocurre con los colores que vemos en las cosas que nos rodean. Para lo cual tenemos que respondernos la siguiente pregunta

#### *¿Cómo detectan nuestros ojos la luz y los colores?*

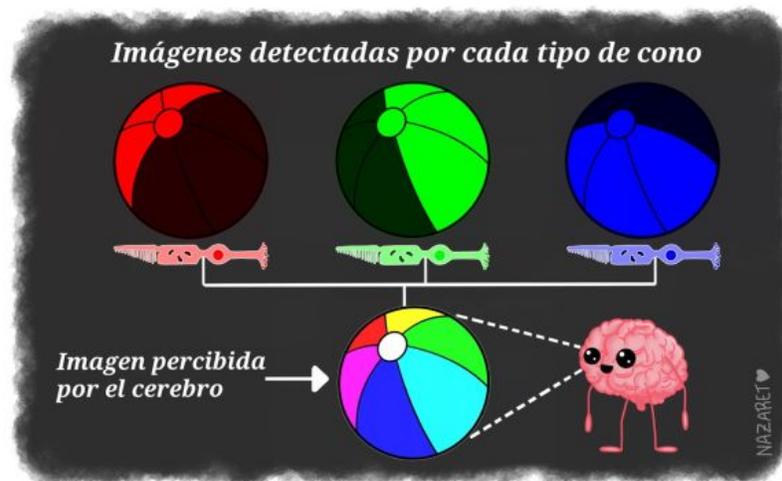
Bueno, lo que sabemos es que gracias a nuestros ojos podemos observar el mundo que nos rodea, pero como lo vimos en el artículo anterior “El mundo a través de nuestros ojos”, somos capaces de ver los objetos porque su imagen se forma en la retina, la capa que se encuentra al fondo de nuestros ojos.

La retina es muy sensible a la luz y en ella se encuentran muchísimas pequeñas células llamadas “conos y bastones”, además vienen acompañadas de fibras nerviosas, las cuáles son como pequeños cables que mandan la señal luminosa al cerebro, el cual finalmente se encarga de traducir todo a “cómo lo vemos”.

Como su nombre lo indica, los conos tienen forma de cono, mientras que los bastones tienen formas alargadas como un bastón. El trabajo en conjunto de estas células nos permite ver, pero existe una diferencia importante entre ambas y es que los bastones son más sensibles a la luz que los conos, los cuales necesitan de una mayor cantidad de luz para que puedan detectarla, los bastones pueden percibir los cambios de luminosidad, que podríamos interpretar como si algo está más claro o más oscuro, identificando así los cambios por ejemplo si estamos afuera o si entramos a un cuarto. Los conos, por otro lado, detectan principalmente 3 colores.



Existen tres tipos de conos, los conos que detectan principalmente el color rojo, los que detectan principalmente al color verde y los que detectan principalmente al color azul. Como notarás, son los colores primarios de la luz, de los cuales platicamos en el artículo “La luz y los colores”, y es gracias a las combinaciones de estos tres colores primarios que nuestro cerebro puede percibir todos los colores que existen.



*¿Qué es la visión nocturna?*

Los conos y bastones son los responsables de que veamos “diferente” el día y la noche, como ya mencionamos los conos detectan colores y los bastones intensidad de luz, dicha diferencia es la principal al momento de ver durante el día (cuando está iluminado) o durante la noche (en la oscuridad).

Como los bastones son más sensibles a la luz que los conos, los conos sólo podrán detectar luz durante el día cuando hay luz de Sol o algún tipo de iluminación artificial, como un foco o una vela que sean lo suficientemente intensas. Pero por la noche, cuando no hay ningún tipo de iluminación o sólo contamos con la luz de la luna, esa luz no será suficiente para activar a los conos, sólo los bastones la detectan.

Es por eso que si nos encontramos en la oscuridad y esperamos a que nuestros ojos se acostumbren a ella (a partir de los 5 minutos la vista comienza a acostumbrarse, pero hasta los 25 min que se acostumbra por completo), seremos capaces de ver en la oscuridad pero los objetos no tendrán una silueta bien definida y tampoco colores, veremos en todo caso como si fuera una película en blanco y negro.

Por otro lado, si nosotros somos capaces de percibir colores es porque la cantidad de luz es suficiente para que los conos la detecten, y como vimos en el dibujo anterior, cada tipo de cono recibe la imagen según el color que detecta y el cerebro la junta en una sola imagen de lo que observamos, una gran cantidad de procesos en cuestión de milisegundos, definitivamente la relación entre el cerebro y los ojos es maravillosa.

Probablemente alguna vez has escuchado que los perros o los gatos ven en la oscuridad, pues se mueven con más gracia y agilidad que nosotros cuando es de noche. Es probable que si no fuera gracias a la electricidad, y especialmente a los focos, nos tropezaríamos con todo en la casa cuando fuera de noche y nos sería difícil caminar pero...

### *¿Es cierto que los perros y gatos ven en la oscuridad?*

En general, los animales nocturnos o con hábitos nocturnos pueden moverse con mayor facilidad en ambientes de poca luz, pero no es porque como tal “vean de noche”, con esto nos referimos a que no ven de noche como lo ponen en las películas o caricaturas o como nosotros vemos de día.

La principal diferencia entre los animales nocturnos es que sus ojos cuentan con una mayor cantidad de células bastones a la que el humano tiene, por lo que sus ojos son más sensibles a la luz, y necesitan menor cantidad de presencia de luz que nosotros para poder observar su entorno, pero su visión sigue siendo en blanco y negro y no ven contornos bien definidos.

Otra diferencia es el tamaño de su pupila, seguramente has visto que los gatos tienen una pupila muy grande y redonda, especialmente cuando cazan. El tamaño de la pupila importa al momento de ver en la oscuridad, mientras más grande sea más luz puede entrar y llegar a la retina, es otra de las razones por la que los animales nocturnos ven mejor que nosotros en la oscuridad.

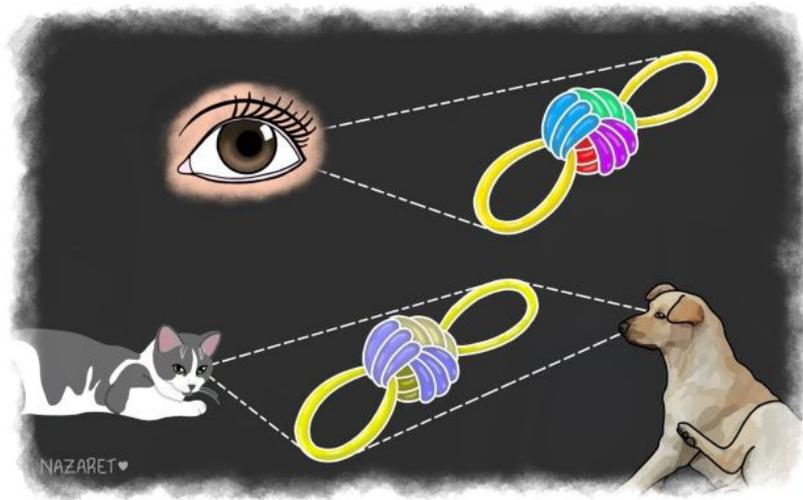
La tercer diferencia es que los animales cuentan con una capa reflejante detrás de la retina, esta capa se llama “tapetum lucidum”, la cual permite que la luz que entra por la pupila y llega a la retina, se refleje dentro del ojo para que los bastones puedan detectar mejor la luz y como si el exterior estuviera más iluminado. Esto se puede observar en los animales cuando de noche se les llega a iluminar y sus ojos brillan, ese brillo que podemos ver es la luz entrando por sus pupilas, rebotando en el tapetum lucidum y reflejándose a nosotros y justos el círculo brillante que llegamos a ver es el tamaño de su pupila en ese momento.

### *¿Qué colores ven mis mascotas?*

Entre los mamíferos, es decir, los que nacen de la mamá y toman leche cuando bebés, somos los únicos animales, junto con algunos primates avanzados, que tenemos detectores para tres colores en los ojos: rojo, verde y azul.

Los demás animales mamíferos solo cuentan con dos tipos de conos, por lo solo ven colores que corresponden a la combinación de los dos tipos de conos que tengan. Por ejemplo, los gatos ven una

combinación de colores azul y amarillo al igual que los perros. Pues les falta un tipo de célula cono. Esto lo puedes comprobar fácilmente, pues es probable que tu mascota tenga un juguete favorito con alguno de estos dos colores en él, pues son los colores que distingue con más facilidad.



También entre los humanos existen personas que solo tienen dos tipos de células conos, así como en el artículo anterior hablamos sobre algunos defectos visuales que tenían que ver con la forma del ojo, hay defectos visuales que tienen que ver con la percepción de los colores, quizá alguna vez hayas escuchado la palabra daltonismo, pero . . .

### *¿Qué es el daltonismo y como ven las personas daltónicas?*

El daltonismo es uno de los defectos visuales de color mas comun, lo tiene aproximadamente 1 de cada 10 hombres y 1 de cada 200 mujeres. El nombre se atribuye a un físico químico llamado John Dalton, el cual, cuenta la leyenda tenía muchos accidentes en su laboratorio de química y fue precisamente porque descubrió que no percibía los colores de la misma forma que el resto de la gente. Pero no es una historia triste para Dalton, decidió dedicarse a la física y trabajar en la formación de la teoría atómica, de la cual probablemente hablaremos en otra ocasión. Volviendo a este padecimiento, es probable que hayas escuchado que las personas daltónicas confunden colores en especial rojo y verde (dependiendo de la célula también podrían tener problemas con los amarillos, morados y azules).

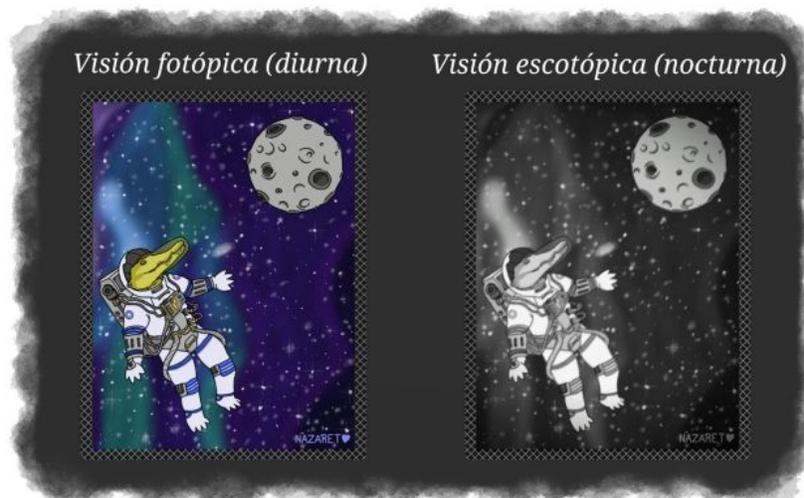
Bueno, lo que realmente ocurre es que la persona con daltonismo tiene problemas específicamente con las células conos que detectan el verde, a veces estas células están dañadas o incluso a veces faltan por completo dentro de la retina, es por eso que las personas daltónicas no perciben el color verde y los objetos que sean verdes o que contengan color verde (como el color cian) los verán diferente.

Cuando se dice que confunden el rojo con el verde es porque, cuando faltan las células cono que detectan el verde, las células que detectan el rojo no funcionan igual que en una persona sin daltonismo. Esto provoca que los colores rojos y verdes se tornen en colores amarillos, haciendo que las personas con daltonismo vean una mezcla de azules y amarillo. Si las células cono que fallan o están dañadas son las que detectan el rojo, también las que detectan el verde no funcionarán como deberían, resultando en una percepción similar de azules y amarillos para estas personas.



Existen pruebas visuales que se pueden realizar para saber si una persona es daltónica o no. Se llama test de Ishihara.

Es por lo que acabamos de hablar en este artículo que podemos catalogar además nuestra percepción visual en diferentes tipos de visión. A la visión de día o diurna se le conoce como “visión fotópica”, mientras que a la de noche o nocturna se le conoce como “visión escotópica”. A diferencia de otros miembros del reino animal, como las abejas y las aves, los humanos tenemos un rango muy limitado de percepción de colores y también de visión nocturna.



Sin embargo, existen otros animales que ven colores que los humanos no pueden percibir, ya se, suena loco, porque ¿cómo será un color que no podamos ver? No lo podemos saber, pero es el caso de algunas aves diurnas y especialmente el caso del animal con los mejores ojos del planeta tierra que es el camarón mantis, sus ojos pueden ver toooodos los colores, incluso colores que nosotros no conocemos.

Con esto hemos llegado al final de los artículos dedicados a la luz y sus colores, el arcoíris, el ojo y la visión humana. Espero que los hayan disfrutado y continúen al pendiente de los próximos artículos de ciencia y arte para niños.

### Referencias:

- Pongrácz, P. et al (2017) *Do you see what I see? The difference between dog and human visual perception may affect the outcome of experiments.* Elsevier. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.beproc.2017.04.002>
- Linberg, A. et al (2001) *Distribution of S- and M-Cones in Normal and Experimentally Detached Cat Retina.* The journal of comparative neurology 430: 343-356pp
- Thoen, H. et al (2014) *A Different Form of Color Vision in Mantis Shrimp.* Science 343: 411-413pp. DOI: 10.1126/science.1245824
- Ocularis. (2007, 13 de julio). *La visión en los animales (II): adaptación a la luz y oscuridad.* Ocularis: El proyecto divulgativo sobre la visión. Consultado en: [Ocularis](#)
- Palomar, A. (2022, 30 de noviembre). *Por qué los humanos vemos el rojo y otros muchos animales no.* National Geographic: España. Consultado en: [National Geographic](#)

## 8.2. Presentación del material audiovisual

El material audiovisual que se realizó, consistió de un video publicado en la plataforma de Youtube, en el canal perteneciente al proyecto de divulgación:

*Ciencia, arte y algo más* (<https://www.youtube.com/@cienciaarteyalgomas3555/featured>)



Figura 31: Captura de pantalla del canal de Youtube *Ciencia, arte y algo más*

El video se titula *Arcoíris de Bolsillo* (<https://www.youtube.com/watch?v=QVawjFqMFkU>) y consta de una breve explicación de los conceptos vistos en los primeros dos artículos escritos, acompañado de animaciones de las ilustraciones realizadas para estos. Además, durante la explicación se mencionan los artículos de divulgación presentes en el blog *Ciencia, arte y algo más* y en la descripción del

video se encuentran los links a dichos artículos.

Después se realiza un experimento sencillo que se puede hacer en casa con materiales fáciles de encontrar, el cual consiste en decapar un CD con ayuda de cinta adhesiva, para poder observar la dispersión de luz (de diferentes fuentes lumínicas) sobre la superficie transparente del CD.

En el video se muestra el paso a paso para realizar el experimento, así como la demostración e instrucciones de uso y finalmente imágenes obtenidas de espectros de diferentes fuentes.



Figura 32: Captura de pantalla del canal del video *Arcoíris de Bolsillo*

Además de la realización de animaciones para el video, se realizó la ilustración para la portada para la nueva sección del canal: *Ouroboros para niños*.



Figura 33: Portada realizada para la sección *Ouroboros para niños*

### 8.3. Divulgación cara a cara

La divulgación cara a cara consistió en la creación de un taller titulado "Arcoíris de Bolsillo". El taller se diseñó utilizando un lenguaje accesible para niños de la escolaridad establecida y se divide en dos partes principales:

1. Una charla de aproximadamente 15 minutos, en la que se explican brevemente los conceptos de luz, color y arcoíris.
2. Una actividad de aproximadamente 15-20 minutos, que consta de un experimento para observar el espectro de la luz, el mismo que se realiza en el video.

La charla se complementó con el uso de carteles que contenían las ilustraciones realizadas para los artículos y con demostraciones usando un prisma, una lámpara, una esfera de cristal y un láser.

Por otro lado, el experimento consiste en quitar la capa reflectiva de un CD con ayuda de cinta adhesiva y cubrir el centro del CD con un cartoncillo para que los niños puedan observar los colores de la fuente de iluminación sin riesgo de mirar directamente la fuente.

Los guiones de la charla y el taller se pueden encontrar en los Apéndices **B** y **C** respectivamente.

La charla y la actividad se presentaron en los diferentes grupos de 3° a 6° grado de primaria de manera individual, de esa forma se pudo observar los resultados individuales en los niños de diferentes edades, según el grado escolar.

## 9. Resultados

Debido a que el público objetivo son niños de escolaridad primaria, el proceso de difusión se realizó de dos formas: a través de redes sociales y de manera presencial.

Por este motivo, se profundizará en los resultados obtenidos en la divulgación cara a cara del material generado, ya que es donde existe mayor retroalimentación por el contacto directo con los niños.

Por medio de la divulgación que se realizó de manera presencial, se corroboró que el lenguaje empleado en los artículos, así como el material audiovisual generado para los mismos, resultara adecuado y llamativo; ya que los elementos para la actividad realizada fueron tomados directamente del material desarrollado.

### 9.1. Resultados de la difusión

Los resultados de la divulgación cara a cara se puede dividir en tres partes:

- Resultados del público. Es la reacción del público y comportamiento ante la actividad.
- Resultados de la actividad. Es el cómo se desarrollo la actividad y la aceptación del público ante ella.
- Resultados del mediador. Es el cómo se desarrolló el facilitador durante la actividad.

#### 9.1.1. Resultados del público

El público ante el cual se presento la charla con demostraciones y taller, fueron niños con escolaridad de 3° a 6° de primaria. Se realizaron 4 presentaciones, una por grado con aproximadamente 30 niños por clase y con duración promedio de 30 minutos cada una (15 minutos de charla y 15 minutos de taller).

Se decidió no mezclar a los grupos para que los niños que lo conforman tengan el mismo nivel escolar y adecuar el discurso en caso de que fuera necesario.

Al realizar la actividad, se pudieron notar las diferencias entre cada grupo, mas allá de la evidente diferencia de edad, pues también se presentaba una diferencia en que tan atento e interesado estaba el grupo.

Para la mayor y grata sorpresa, el grupo que presentó mas interés en la charla y el taller, fueron los niños de 3ro (aproximadamente 8 años de edad), se mostraron emocionados, participativos y curiosos, tanto en la charla como en el taller. Durante la charla mencionaron que les gustaban las ilustraciones que se les mostraron, respondieron correctamente cuando se les preguntó si sabían “¿quien fue Issac Newton?” y se emocionaron con las demostraciones.

Después durante el taller, prestaron atención y no tuvieron problema con seguir las indicaciones, sin embargo les costó un poco más de trabajo y tiempo la parte de quitar por completo la película reflejante del CD, pero a pesar de ello, ninguno dejó de hacer la actividad o de mostrar interés pues se encontraban interesados en poder terminar el taller y observar el arcoíris.

Hubo una clara diferencia entre las presentaciones con el grupo de 3° y el resto de los grupos, y es que la profesora no estuvo presente. Ella se retiró para ceder el grupo al mediador, lo que probablemente influyo en la notable diferencia en la actitud de los niños hacia la actividad. Al no

estar presente la figura de autoridad que representa la profesora, los niños pudieron expresarse más libremente y sentirse más cómodos al realizar la actividad, ya que no temían ser evaluados.



Figura 34: Niños de 3° con su arcoíris de bolsillo.

Los grupos de 4to y 5to (aproximadamente entre 9-11 años de edad) no presentaron dificultad alguna, llevaron a cabo el taller sin problemas y durante la charla mostraron interés, pero se encontraban mas dispersos que los niños de 3ro. Se pudo observar que conforme se iba presentando la actividad a los últimos grados escolares, el interés iba disminuyendo y aunque se vieran obligados a prestar atención, debido a que el facilitador se encontraba al frente del grupo, justo donde se encuentra el pizarrón, a pesar de eso, los niños eran menos participativos. Los niños de 4to se emocionaron más ante las demostraciones y el taller que los de 5to.

Finalmente el grupo de 6to (aproximadamente 12 años de edad), fue el grupo que mas apatía presentó, no eran muy participativos, y se notaba su falta de interés, probablemente se deba a que a esa edad se encuentran en la etapa de la preadolescencia y es un público en el que resulta difícil mantener su atención. Había sus excepciones, como en todo grupo, niños que mostraban un interés genuino y se mostraban atentos, pero desafortunadamente la gran mayoría no fue así.

### 9.1.2. Resultados de la actividad

La actividad se desarrollo de manera amena, durante la charla los niños se mostraron participativos en todos los grupos, con la evidente diferencia de interés entre 3ro y 6to, pero a pesar de todo, nunca hubo silencio cuando se les hacían preguntas para continuar con el discurso y más de uno quería participar en cada ocasión.

Los carteles usados, los cuales fueron parte de las ilustraciones realizadas para los artículos, resultaron llamativos, en especial para los niños mas pequeños (3ro y 4to de primaria), les gustaron los dibujos y se mantuvieron atentos.

Las demostraciones que se hicieron durante la charla consistieron en: hacer pasar la luz de una lampara por un prisma para separarla en los colores que la componen y apuntar un láser a una

esfera de cristal para mostrar como la luz rebota dentro de la gota antes de volver a salir. Dichas demostraciones resultaron llamativas para los diferentes grupos, pero los niños de 3ro, 4to y 5to se emocionaron más al verlas, principalmente al poder observar los colores que componen a la luz blanca gracias al prisma. Los más pequeños (los de 3ro), se emocionaron desde el instante que vieron los instrumentos que se utilizarían para las demostraciones, pues no los conocían; cabe aclarar que los demás niños también era la primera vez que veían un prisma y probablemente una esfera de cristal, pero ningún grupo se mostró tan emocionado como los de 3ro.

Durante el taller los niños tuvieron la oportunidad de trabajar en equipo, pues aunque cada niño tenía su CD, a algunos les resultó más fácil que a otros quitarle la capa reflectiva por completo, por lo que terminaron antes y ayudaron a sus compañeros. Lo cual refuerza el trabajo en equipo, además como ya se menciona con anterioridad, aunque a los más pequeños les tomó más tiempo realizar el taller, se mantuvieron motivados hasta terminar.

Finalmente, como parte extra de la actividad, se realizaron algunas preguntas al final del taller, en las cuales se preguntaron conceptos vistos durante la charla, mismos que al inicio de cada tema se les preguntaban durante el discurso y de esa manera poder evaluar de manera cualitativa si se habían entendido los conceptos, a lo que se pudo notar que las respuestas eran acertadas, además de que aumentó considerablemente la cantidad de niños que querían participar.



Figura 35: Muestra del arcoíris de bolsillo ante el grupo de 4°.

### 9.1.3. Resultados del mediador

En esta ocasión como facilitador, se diseñó la actividad desde cero, se escribió el discurso, se realizaron las ilustraciones que fueron utilizadas como carteles, se pensaron y prepararon las demostraciones que se creyeron más ilustrativas para los conceptos teóricos que se tocaron y aunque el taller se trataba de un experimento que ya es conocido, durante la actividad se intentó que las instrucciones quedaran lo más claras posibles para que los niños, si así lo deseaban, pudieran repetirlo en casa con sus amigos, primos, conocidos, etc.

La actividad que se diseñó tuvo una buena aceptación, fue llamativa para los niños y no resultó complicada para ellos. En cuanto a la adaptación del lenguaje para presentar la actividad en los

diferentes grupos, casi no hubo que hacer modificaciones, la mayoría de los conceptos se entendieron bien desde el principio en los mas pequeños, por lo que en los demás ya no hubo problema.

Fue una buena experiencia, incluso a pesar del ambiente de apatía que se sintió en los niños de 6to, pues los demás grupos equilibraron la situación e hicieron que la experiencia en general fuera reconfortante. Principalmente el grupo de 3ro, quienes sorprendieron gratamente y transmitieron su emoción al verlos a ellos de la misma manera, lo cual evidencia que la divulgación en niños pequeños es necesaria para acercarlos a la ciencia con conceptos y experimentos que resulten llamativos para ellos.



Figura 36: Presentación frente al grupo de 5º.

## 10. Conclusiones

Al realizar el material de divulgación, se encontraron diversos obstáculos que se tuvieron que superar. Dentro de los cuales, el principal consistió en el rango de edades de nuestro público objetivo, al tratarse de niños de 3° a 6° de primaria, es decir entre 8 y 12 años, existió la dificultad de adecuar el lenguaje que se iba a utilizar, pues al tratarse de material escrito principalmente, debió de ser fácil de leer y comprender, fue entonces cuando se pusieron a prueba las habilidades de contextualización de los conceptos a tratar.

Hubo términos que resultaron mas complejos de contextualizar por lo que se decidió dejar los términos originales, entre ellos se encuentran los nombres de las partes del ojo, los términos de los defectos visuales y la palabra “fenómeno”, a pesar de ello, todos los conceptos se pudieron expresar en palabras sencillas sin perder el rigor científico y fueron entendidas por los niños.

Aunque la divulgación cara a cara no se llevó a cabo leyendo el material escrito, los textos de divulgación y el lenguaje utilizado en ellos sirvieron como base para los discursos del taller. Asimismo, las ilustraciones creadas para dichos artículos se imprimieron en tamaño doble carta y se utilizaron como carteles durante la charla.

Los objetivos particulares establecidos en el presente trabajo se lograron mediante los artículos de divulgación escritos, el video de experimento casero y la divulgación presencial. Los artículos escritos abarcaron temas como el espectro visible, los colores, la percepción del color, la formación del arcoíris, el ojo humano y el funcionamiento de la visión humana.

Gracias a la difusión presencial con el público objetivo, se pudo confirmar que el material desarrollado contaba con los elementos necesarios para cumplir con las metas esperadas. Al realizar una evaluación cualitativa con los niños, que consistió en hacer una serie de preguntas “al aire” al iniciar la actividad y compararlas con otra serie de preguntas similares al finalizar, se observó que el material tenía el lenguaje adecuado, era llamativo para los niños y los conceptos eran comprensibles. De esta manera, al finalizar la actividad, varios niños en todos los grupos pudieron contestar correctamente preguntas relacionadas con los conceptos abordados. Además, el experimento realizado de forma presencial fue el mismo que el del video, lo que permitió corroborar que las instrucciones eran claras y que los niños del público objetivo podían llevar a cabo el experimento sin problemas.

Los resultados de la divulgación presencial del material elaborado fueron satisfactorios, lo que permite planear la continuación del proyecto. Se observó que la actividad desarrollada tiene el potencial de ser presentada en ferias del libro o eventos de divulgación científica. Además, durante la realización del proyecto, se identificaron varias áreas y ramas de la ciencia que, como la óptica, que abarca temas de luz y color y ya no se estudia en el plan de estudios de primaria de la SEP [SEP, 2017], aunque poco exploradas en la divulgación para niños, pueden resultar muy atractivas para ellos. Estas áreas representan una excelente oportunidad para acercar a los niños a la ciencia.

Además, en la investigación realizada, al revisar la bibliografía [Cuevas, 2016; Solbes and Furió, 2007; Holstermann, 2010], se menciona la importancia de la divulgación, la educación no formal y las actividades prácticas como estrategias clave para mejorar el interés y la motivación de los estudiantes en la ciencia. Estas prácticas no solo hacen que la ciencia sea más accesible y relevante para los estudiantes, sino que también ayudan a desarrollar habilidades críticas y de investigación que son esenciales para su formación integral. Como se mencionó en el presente trabajo, la divulgación científica es una labor importante para la sociedad, especialmente con los niños. Al introducir a los niños en el mundo de la ciencia, se fomenta su pensamiento crítico, lo cual puede motivarlos a continuar sus estudios hasta una carrera universitaria.

## Bibliografía

### Referencias

- Aegerter, C. M. (2018). *Introductory Physics for Biological Scientists*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Amador, F. (2020). Didáctica desarrolladora en educación básica, formación integral en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Ciencias*, 135.
- Bachiller, R. (2015). La revolución de alhacén: de las tinieblas a la luz. *EL MUNDO*.
- Bogdanov, K. Y. (1999). *Biology in Physics: Is Life Matter?* Academic Press, Cambridge, MA.
- Castelan, J. (2021). Crea cuentos ilustrados para niños y niñas, y potencia su imaginación. *Crehana*.
- Christopher Williams, Martin Stanisstreet, K. S. E. B. and Dickson, D. (2003). Why aren't students interested in physics? *Physics Education*, 38(4):324–329.
- CIE (2019). Cie 1964 colour-matching functions, 10 degree observer. *Commission Internationale de l'Eclairage*.
- CIE (n.d.). Data tables. International Commission on Illumination.
- Cuevas, A., H. R. L. B. E. . M. C. P. (2016). Enseñanza-aprendizaje de ciencia e investigación en educación básica en México. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 18.
- Davidovits, P. (2013). *Physics in Biology and Medicine*. Academic Press, Cambridge, MA, 4th edition.
- Flores-Camacho, e. a. (2012). *La enseñanza de la ciencia en la educación básica en México*. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, México.
- Freire, Paulo Faundez, A. (2016). *Por una pedagogía de la pregunta: crítica a una educación basada en respuestas a preguntas inexistentes*. Siglo veintiuno editores, México.
- Freire, N. (2023). Isaac newton: el primer científico que explicó la naturaleza de los colores. *National Geographic España*.
- Gilbert, P.U.P.A.; Haeberli, W. (2008). *Physics in the Arts*. Academic Press, Wisconsin.
- Hale, George; Querry, M. (2014). Optical constants of water in the 200nm to 200x10<sup>6</sup>m wavelength region. *Applied Optics. Optical Society of America.*, 12.
- Hecht, E. (2000). *Óptica*. ADDISSON WESLEY IBEROAMERICANA, Madrid, tercera edición edition.
- Hidalgo, J. (2020). La ciencia en la escuela, una propuesta de educación alternativa. *Ciencias*, 135.
- Holstermann, e. a. (2010). Hands-on activities and their influence on interest in science. *Res Sci Educ*, 40.
- Konica (2020). Entendiendo el observador estándar de 2 grados y 10 grados. *Blogs de mediciones de color. Konica Minolta*.

- Larkin-Hein, T. (2000). Learning styles in introductory physics: Enhancing student motivation, interest, & learning. In *International Conference on Engineering and Computer Education*, São Paulo, Brazil.
- Lewin, W. (2002). Lec 31: Rainbows - 8.02 electricity and magnetism [video]. YouTube. For the Allure of Physics.
- Library, S. A. S. (n.d.). Orbis sensualium pictus [fotografía]. State Library of South Australia's Digital Collections, Treasures of the State Library of South Australia.
- Malacara, D. (2011). *Color vision and colorimetry: theory and applications*. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Washington, USA, 2nd edition edition.
- Potvin, Patrice Hasni, A. (2020). Interest, motivation and attitude towards science and technology at k-12 levels: A systematic review. *Studies in Science Education*, 50.
- Puell, M. C. (2006). *Óptica fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Rainwater, C. (1971). *Light and color*. Golden Press, New York.
- SEP (2015). Programa de estudios - primaria. *Gobierno de México*.
- SEP (2017). *Aprendizajes clave para la educación integral: Plan y programas de estudio para la educación básica*. Secretaria de Educación Publica, México.
- SEP (2022). *Programa del curso: Ciencias Naturales. Su aprendizaje y su enseñanza*. Educación. Secretaria de Educación Publica, México.
- Sepper, D. (2003). Los rayos de newton y la percepcion de la realidad. *Ciencias 70*, 20-30.
- Shevell, S. K. (2003). *The Science of Color*. Optical Society of America Elsevier Ltd, Chicago, USA, 2nd edition edition.
- Solbes, M. and Furió (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia. *DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SOCIALES*, 21.
- Utreras, Bárbara Berrios, R. (2020). Enseñanza de las ciencias por medio del modelo indagatorio, las ferias de ciencias naturales. *Ciencias*, 135.
- Verbok (2021). Cmyk o rgb: ¿cuál es mejor para imprimir? *El blog de Verbok*.
- Villareal-Romero, Sandra; Olaya-Escobar, E. L.-P. E. P.-C. J. (2019). Pequeños con grandes imaginarios: Cómo acercarlos al mundo de la ciencia. *Revista Comunicar*, 27.
- Zeiss (2017a). El ojo humano. *Entender la visión*, 24 de noviembre de 2017.
- Zeiss (2017b). ¿cómo funciona la visión en color? *Entender la visión*, 16 de octubre de 2017.

## Apéndices

### A. Tablas

#### A.1. Transmisión e índice de refracción

Sustancia	Índice de refracción ( $\eta$ )
Aire	1.0003
Hielo	1.31
Agua	1.333
Alcohol etílico	1.36
Cuarzo fundido	1.458
Plexiglás	1.51
Vidrio crown	1.52
Cloruro de sodio	1.544
Poliestireno	1.59
Diamante	2.417

Cuadro 3: Índices de refracción aproximados de varias sustancias[[Hecht, 2000](#)].

#### A.2. Formación del arcoíris

$\theta_i$ [°]	$\theta_t$ [°]	$\delta$ [°]	$\phi$ [°]
0	0	180	0
10	7.5	170	10
20	14.9	160.4	19.6
30	22.08	151.68	28.32
40	28.9	144.4	35.6
50	35.17	139.32	40.68
60	40.63	137.48	42.52
70	44.95	140.2	39.8
80	47.77	148.92	31.08
90	48.75	165	15

Cuadro 4: Valores para  $\theta_t$ ,  $\delta$  y  $\phi$  cuando  $\theta_i$  varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

$\lambda[\mu m]$	$\eta$
0.400	1.339
0.425	1.338
0.450	1.337
0.475	1.336
0.500	1.335
0.525	1.334
0.550	1.333
0.575	1.333
0.600	1.332
0.625	1.332
0.650	1.331
0.675	1.331
0.700	1.331
0.725	1.330
0.750	1.330

Cuadro 5: Índice de refracción para diferentes longitudes de onda en el agua[Hale, 2014].

### A.3. Fotorreceptores

$\lambda[\text{nm}]$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$
400	0.0191097	0.0020044	0.0860109
410	0.084736	0.008756	0.389366
420	0.204492	0.021391	0.972542
430	0.314679	0.038676	1.55348
440	0.383734	0.062077	1.96728
450	0.370702	0.089456	1.9948
460	0.302273	0.128201	1.74537
470	0.195618	0.18519	1.31756
480	0.080507	0.253589	0.772125
490	0.016172	0.339133	0.415254
500	0.003816	0.460777	0.218502
510	0.037465	0.606741	0.112044
520	0.117749	0.761757	0.060709
530	0.236491	0.875211	0.030451
540	0.376772	0.961988	0.013676
550	0.529826	0.991761	0.003988
560	0.705224	0.99734	0
570	0.878655	0.955552	0
580	1.01416	0.868934	0
590	1.11852	0.777405	0
600	1.12399	0.658341	0
610	1.03048	0.527963	0
620	0.856297	0.398057	0
630	0.647467	0.283493	0
640	0.431567	0.179828	0
650	0.268329	0.107633	0
660	0.152568	0.060281	0
670	0.0812606	0.0318004	0
680	0.0408508	0.0159051	0
690	0.0199413	0.0077488	0
700	0.00957688	0.00371774	0

Cuadro 6: Resultados obtenidos en el experimento de observador estándar (1964) de los valores tris-tímulos: rojo ( $\bar{x}$ ), verde ( $\bar{y}$ ) y azul ( $\bar{z}$ ), para obtener las longitudes de onda correspondientes.[CIE, 2019].

## B. Discurso de la actividad

### Material para el discurso

El material que su utilizo para el discurso se divide en los carteles que se usaron para ejemplificar y el material usado para las demostraciones que se realizaron.

#### Carteles:

- Cartel de Newton
- Cartel del experimento crucialis
- Cartel señal ojo-cerebro
- Cartel mezcla de colores
- Cartel interacción gota-luz
- Cartel arcoíris-persona

#### Demostración:

- Prisma
- Hoja blanca (pantalla)
- Lámpara
- Esfera de vidrio
- Láser

### Discurso

#### Presentación

1. Presentación: “Hola, mi nombre es Nazaret y hoy vengo a presentarles este taller que se llama “Arcoíris de Bolsillo”. Antes de comenzar les voy a platicar un poquito sobre lo que hago, ustedes llevan una materia llamada “ciencias naturales”, ¿cierto?”
2. Preguntar: “¿Alguien me podría decir brevemente de qué trata la materia?”
  - a) Responder: “En ciencias naturales ven varias cosas que estudian las ciencias, entre ellas está una llamada “Física”. Física significa natural o naturaleza, y es la ciencia que se dedica al estudio del mundo que nos rodea. Hay otras ciencias como la biología que estudia a los seres vivos: animales y plantas”.
  - b) Mencionar: “Hoy les voy a hablar un poquito de física que es a lo que me dedico, pero no se asusten pues vamos a platicar en particular de los colores, y como el nombre del taller lo dice, del arcoíris”.

#### Luz blanca

1. Pregunta disparadora: “Probablemente todos tenemos un color favorito, o alguno que nos guste más que otros, ¿alguno quisiera compartir con nosotros cuál es su color favorito?”

- a) Continuar: “En lo personal mi color favorito es el morado, pero ¿les gustaría saber de qué depende el color de las cosas y porque somos capaces de ver colores?”
2. Mencionar: “Para hablar sobre los colores, les voy a contar una pequeña historia”.
    - a) Continuar: “Hace tiempo, en un lugar lejano, vivía un niño muy curioso... Su nombre era Isaac Newton, ¿a alguien le parece conocido este nombre?”
    - b) Contar la historia de Newton brevemente y mostrar la imagen de Newton.
    - c) Mostrar la imagen del experimento y explicar el experimento que realizó.
    - d) Hacer la demostración con el prisma.
    - e) Explicar el cambio de la velocidad de la luz en el prisma con el ejemplo de correr en el agua y decir que cada color tiene diferente velocidad y por eso se separa.
    - f) Mencionar: “La luz está compuesta de estos y todos los colores que somos capaces de ver. Cuando mezclamos todos estos colores obtenemos luz blanca”.
    - g) Continuar: “Pero ahora vamos a platicar en qué consiste el color de las cosas y el porqué vemos esos colores”

### Percepción de color

1. Preguntar: “¿Alguna vez, han escuchado la palabra daltonismo o que alguien es daltónico?”
  - a) En caso de respuesta afirmativa, preguntar: “¿Sabes que significa?”
  - b) Responder: “Las personas con daltonismo son aquellas que no perciben los colores como el resto de las demás, pero ¿a qué se debe?”
  - c) Continuar: “Bueno para entender esto primero hablaremos sobre lo que realmente significa que veamos colores”.
2. Preguntar: “¿Alguna vez han estado en una habitación completamente a oscuras? ¿Qué ven?”
  - a) Responder: “Si la habitación está completamente a oscuras, no somos capaces de ver nada, todo es oscuridad. Pero, ¿han estado en una habitación que está oscura, pero no tanto como para poder observar los objetos que hay dentro?”
  - b) Responder: “Pero aunque podamos ver los objetos, si la habitación está oscura, es difícil que podamos distinguir los colores de dichos objetos. Esto sucede porque para que podamos observar colores necesitamos presencia de luz, pues lo que nosotros percibimos como color es en realidad una señal que nuestro cerebro procesa”.
3. Mostrar la imagen del la señal de color y explicar: “Los objetos los vemos de un color u otro, porque la luz rebota en el objeto y nuestros ojos la perciben gracias a unas pequeñas células llamadas conos, como una señal que traduce el cerebro y nos dice que color estamos viendo”.
  - a) Continuar: “Cuando una persona sufre de daltonismo o de alguna otra condición que no le permite observar bien los colores, es porque estas células llamadas conos no funcionan bien y confunde la señal, así que su cerebro no puede determinar que color está observando, y normalmente el color rojo y el verde lo confunden porque estas señales son muy similares para nuestro cerebro”.

- b) Explicar: “El color de las cosas depende del material de las cosas, como ya platicamos antes, la luz contiene todos los colores que podemos observar, y así como esta se refleja en la superficie de las cosas, cierta cantidad de luz es absorbida por el objeto y dependiendo de qué colores sea capaz de absorber, el resto rebotará y será aquel que llegue a nuestros ojos”.

### **Colores de luz y colores de pigmento**

1. Preguntar: “¿Alguna vez han escuchado acerca de los colores primarios?”
  - a) Si la respuesta es afirmativa: “¿alguien me podría decir cuáles son?”
  - b) Responder: “Los colores primarios son un grupo de 3 colores a partir de los cuales podemos obtener el resto de colores. Pero cuando hablamos de colores vamos a tener diferentes tipos de colores, y no me refiero a los diferentes colores como el rosa o el azul, sino más bien a qué vamos a tener dos grupos principales de colores. Uno será llamado los colores de luz y los colores de pigmento o pintura”.
2. Mostrar el esquema y explicar los colores primarios de luz y de pigmentos y sus mezclas.

### **Formación de arcoíris**

1. Mencionar: “Ahora que ya hablamos sobre los colores que conforman la luz, podemos platicar acerca de los arcoíris”.
2. Preguntar: “Todos aquí hemos visto alguna vez un arcoíris, ¿verdad?”
3. Preguntar: “¿Alguien me puede decir que ocurre a nuestro alrededor cuando podemos ver un arcoíris?”
  - a) Responder: “Así es, normalmente cuando vemos un arcoíris está lloviendo, pero hay sol. Pero podemos observar arcoíris o los colores de la luz en otros momentos, por ejemplo: en un aspersor de agua, en un charco, cuando regamos con una manguera. ¿Que notan en común en todas estas situaciones?”
  - b) Responder: “Hay presencia de agua, pero ¿porque necesitamos del agua para poder ver el arcoíris?”
  - c) Explicar: “En realidad no solo el agua puede generarnos un arcoíris, lo importante para que se formen son las gotas, en este caso gotas de agua”.
4. Mostrar el cartel de la gota y explicar: “En este caso la gota está haciendo exactamente lo mismo que el prisma que observamos antes, pero en este caso lo que ocurre es lo siguiente. La luz entra a la gota y esta la separa en sus colores, luego dentro de la gota la luz rebota hasta que finalmente sale de la gota separada en sus diferentes colores y es por esto que podemos observar un arcoíris cuando está lloviendo y hay sol”.
  - a) Hacer la demostración con la esfera de vidrio y el láser, de cómo rebota la luz dentro de la gota.
5. Preguntar: “¿Alguien me podría decir qué forma tiene un arcoíris?”
  - a) Preguntar: “¿Han escuchado que hay al final del arcoíris?”

- b) Responder: “Existe la historia de que al final del arcoíris hay un tesoro, un caldero lleno de monedas de oro, pero tristemente no es así, en realidad nunca podremos encontrar el final del arcoíris por dos razones: porque conforme te acerques hacia el arcoíris dejaras de verlo y porque el arcoíris no tiene un inicio o fin, ya que se trata de un círculo”.
  - c) Explicar lo del cono de luz y la gota, para demostrar la forma circular con la esfera de cristal.
6. Preguntar: “¿Y siempre que llueve y hay sol, podemos ver un arcoíris?”
- a) Responder: “¿No les ha pasado que a veces está lloviendo y aunque haya sol, por más que busquen el arcoíris no lo encuentran?”
  - b) Explicar: “Esto se puede deber a varias razones, pero la principal es la dirección del sol”.
  - c) Explicar diagrama de persona sol: “La lluvia no debe ser tan fuerte donde nos encontremos, el sol debe estar a nuestra espalda, y el sol debe de estar en cierta posición para que veamos el arcoíris”.
7. Introducir al taller: “Ahora que ya sabemos cómo se forma un arcoíris, y las condiciones que deben de haber para que podamos observar, vamos a pasar a la actividad para que siempre puedan observar un arcoíris sin necesidad de esperar a que haya sol cuando llueva”.
- a) Realizar el taller.

## C. Taller: Arcoíris de Bolsillo

### Material para realizar el taller

El material que se utilizó para que cada niño realizara su propio “Arcoíris de Bolsillo” fue el siguiente:

- Un CD: puede ser nuevo o que ya no sirva (rayado o con una pequeña fractura, pero de preferencia que esté lo más completo posible)
- Un cuadrado de cartón o cartulina de aproximadamente 4 cm x 4 cm (en el caso de la actividad realizada en presencial, se les proporcionó un sticker circular con las medidas ya necesarias).
- Cinta adhesiva
- Tijeras
- Lápiz

### Proceso

El proceso se modificó según fuera necesario para la realización del taller en presencial.

1. Ten a la mano los materiales que vamos a utilizar.
2. Toma el cuadrado de cartón o cartulina y dibuja un círculo que sea aproximadamente del mismo tamaño que el círculo transparente dentro del CD, esto incluye al agujero del centro del CD más la parte de plástico la cual suele ser transparente. En caso de que sea difícil diferenciar esta área en tu CD dibuja un círculo que quepa en tu cuadrado de 4x4 cm.
3. Corta el círculo que dibujaste en el cartón o cartulina con las tijeras y revisa que coincida con el círculo del CD. Deja un momento el círculo que recortaste a un lado, más adelante lo utilizaremos.
4. Pon el CD en el espacio que utilizarás para trabajar con la parte de plástico transparente hacia abajo, es decir con la parte donde suele decir la marca o tener algo escrito viendo hacia arriba.
5. Pídele ayuda a un adulto para hacer una raya con el filo de las tijeras en la cara del CD que está hacia arriba, esto debería ocasionar que a través de la raya se vea el plástico transparente del CD o comience a levantarse la capa que cubre esta parte.
6. Corta un trozo de cinta adhesiva y pégala al CD de manera que pase por donde se hizo el rayón y despégala, esto hará que la capa que cubre esta parte se desprenda poco a poco.
7. Continúa pegando y despegando la cinta adhesiva al CD, de manera que la cinta pase por la parte donde se está desprendiendo la capa que cubre al disco, esto hará más fácil que se desprenda dicha capa.
8. Si la cinta adhesiva ya no despega partes de la capa que cubre el CD, cámbiala por un trozo nuevo.
9. Repite estos pasos (los pasos 6-8) hasta que el CD quede completamente transparente, quizá esto te lleve un poco de tiempo, pero recuerda que mientras más limpio quede tu CD mejor se verá el arcoíris.

10. Una vez que tengas el CD transparente, toma el círculo de cartón o cartulina que recortaste anteriormente (en el paso 3) y colócalo sobre el centro del CD.
11. Corta 2 trozos de cinta adhesiva un poco más grandes que el círculo de cartón o cartulina que cubre el centro y utilízalos para pegar dicho círculo al CD, formando una cruz con los trozos de cinta.

De esta manera tendrás listo tu arcoíris de bolsillo, a continuación, los pasos para ver el arcoíris en el CD:

1. Toma el CD con tus manos por la orilla, evitando tocar la parte transparente por la que veremos, para evitar que se ensucie el CD y de esta manera podamos ver el arcoíris mejor.
2. Enciende un foco, luz de celular o vela y acomoda el CD entre la luz y tú.
3. Guiña un ojo o tápalo con una de tus manos, con tu ojo abierto verás hacia el CD, acomodándolo de manera que el círculo de cartón o cartulina, que cubre el centro, tape el foco, luz de celular o la flama de la vela.
4. Acerca y aleja el CD de tu ojo, cuidando que cumpla el paso anterior, hasta que en toda la parte transparente del CD se vea el arcoíris en forma circular.

**Nota:** Hacer énfasis en que se debe evitar mirar directamente al sol o utilizar el arcoíris de bolsillo con el sol por el daño que puede ocasionar al ojo.